Rapport R67:1979

Värdering av energibesparande åtgärder i byggnader

Jan Eric Jonsson
Jan Sjölund

Byggforskningen

Rapport R67:1979

VÄRDERINGAR AV ENERGIBESPARANDE ÅTGÄRDER I BYGGNADER

Jan Eric Jonsson
Jan Sjölund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740138-8 från Statens råd för byggnadsforskning till Tekn dr Arne Johnson Ingenjörsbyrå.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R67:1979

ISBN 91-540-3027-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954586

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Inledning

Den som idag står i begrepp att göra något för att spara energi finner mängder av tips och rekommendationer i tidskrifter och dagspress. Eftersom nästan alla energibesparande åtgärder verkligen är energibesparande är det också möjligt att visa positiva kalkyler för var och en.

Situationen är därför besvärlig för vår beslutsfattare. Antingen väljer han vad som ser bäst ut och hoppas att kalkylen är seriös och bygger på en situation som liknar hans egen. Eller så väljer han att genomföra en skräddarsydd kalkyl från grunden.

I det första fallet är risken stor att åtgärden i fråga inte ger det resultat som väntats och det är troligt att en annan åtgärd eller en variation skulle ha varit fördelaktigare. I det andra fallet kommer man troligen att finna att det är arbetskrävande att skaffa fram olika uppgifter i synnerhet om det gäller flera alternativ som skall jämföras med varandra.

Ingen av utvägarna är alltså särledes bra. Man kan emellertid finna en fördelaktig kompromiss som huvudsakligen består i att beräkningsarbetet uppdelas i två steg varigenom överskådligheten ökas och arbetsinsatsen minskar.

Det är nämligen möjligt att för varje åtgärd en gång för alla i ett första steg utföra huvuddelen av kalkylen utan att baka in de förutsättningsvariationer som normalt intresserar en beslutsfattare. Det resultat som föreligger efter detta steg är uttryck eller diagram där de ekonomiska konsekvenserna kan avläsas och jämföras utan eller efter mycket enkla beräkningskompletteringar.

Varje energibesparingsåtgärd är förbunden med kostnader. Vissa av dessa är självklara och enkla att bestämma, andra är svårare att finna men kan ändå vara väsentliga för det ekonomiska utbytet. I den beräkningsmodell som här presenteras är ambitionen den att alla betydelsefulla kostnader skall beaktas och den bygger på en i möjligaste mån generell checklista över sådana.

Varje energibesparingsåtgärd medför också intäkter. Dessa kan uppdelas i två kategorier nämligen dels sådana som direkt kan hänföras till energivinster och dels sådana som förändrar den ekonomiska situationen på annat sätt.

Inom denna beräkningsmodell beaktas primärt bara de intäkter som fysikaliskt kan hänföras till energivinster. För en tilläggsisoleringsåtgärd medräknas således t.ex. själva minskningen i värmeströmmen, inverkan av isoleringens utrymme, effekter på underhållskostnaden och om ökningen av väggens yttemperatur medger en viss sänkning av rumstemperaturen. Om t.ex. kvalitetsökningen i lokalen medför en hyreshöjning eller att den kan användas till andra ändamål förutsättes att den som studerar modellen tar hänsyn till detta när man bedömer sin ekonomiska situation.

Varje åtgärds ekonomiska utfall beräknas som summan av nuvärdet för alla de ekonomiska konsekvenser den för med sig inom en viss tidsrymd. Åtgärden i fråga kan härmed sägas ha förräntat sig vid den tidpunkt då nuvärdessumman blir noll.

För den som är beroende av en viss bankränta kan följande definition ge en enklare bild: "Åtgärden har förräntat sig då man genom att efter hand ha satt in varje årskostnadsminskning på bank har fått ihop samma summa som skulle ha erhållits om anläggningskostnaden satts in på bank med samma ränta vid byggnadstillfället."

ALLMÄNT OM ENERGIBESPARANDE ÅTGÄRDER

Matematisk behandling - ekonomisk modell

De kostnader och intäkter som uppstår som följd av en vidtagen energibesparande åtgärd kan åskådliggöras i ett tids-kostnadsdiagram enligt figur 1.

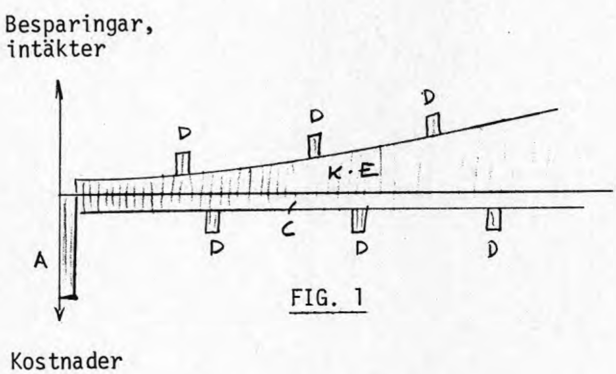


FIG. 1

Kostnaderna/intäkterna är av följande typer:

- Kostnader för åtgärdens genomförande, A.
- Åtgärdens effekt på kontinuerliga (årliga) framtidskostnader,

  dels i form av en energikostnadsbesparing, K · E, d.v.s. en intäkt som är direkt proportionell mot energipriset E.

  dels i form av en inverkan på övriga kontinuerliga framtidskostnader, C, t.ex. driftskostnader. C kan vara både positivt och negativt.
- Åtgärdens effekt i form av punktvisa framtidskostnader, D, t.ex. underhålls- eller utbyteskostnader. D kan vara både positivt och negativt.
- Utöver ovanstående måste man ibland beakta riskkostnader för haveri av en installerad apparat (denna kostnad är ej illustrerad i figuren).

För att kunna jämföra kostnader och intäkter och därmed avgöra en åtgärds lönsamhet måste kostnadernas och intäkternas läge längs tidsaxeln beaktas.

Detta sker i det följande genomgående på så sätt att samtliga framtida kostnader och intäkter omvandlas till nuvärden, d.v.s. omräknas till tidpunkten T = 0 med hjälp av en vald räntesats.

Nuvärdet av en framtida kostnadspost K är alltså den penningssumma som idag måste avsättas för att med den valda räntesatsen ha växt till värdet K.

Efter en nuvärdesberäkning kan de resulterande ursprungliga kostnaderna och intäkterna med sina nuvärden avsättas i ett diagram som kan ha utseendet som figur 2.

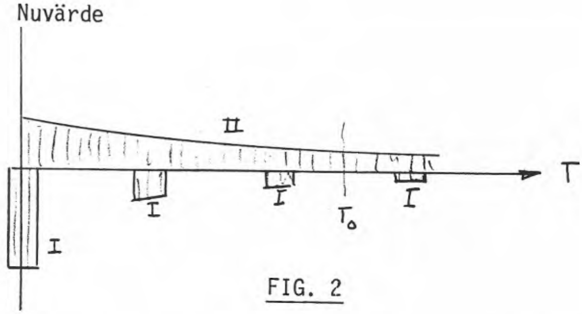


FIG. 2

I detta diagram kan nu ytorna I och II, d.v.s. nuvärdena av summa kostnader resp. summa intäkter jämföras med varandra. Detta innebär t.ex. att man kan beräkna den tidpunkt T_0 då intäktsytan blivit lika stor som kostnadsytan, d.v.s. då åtgärden förräntat sig. Efter tidpunkten T_0 börjar alltså åtgärden att ge vinst.

Kalkylränta - prisstegring - effektiv ränta

För de erforderliga nuvärdesberäkningarna skall användas en räntesats. I botten ligger en kalkylränta, R_0. Olika beslutsfattare/husägare kan räkna med olika kalkylräntor.

> Den kan t.ex. utgöras av en låneränta för det fall att husägaren lånar pengar till åtgärden.
>
> Den kan också sättas till den förräntning husägaren skulle fått vid en alternativ användning av pengarna.

Nuvärdesberäkningarna måste också ta hänsyn till den kostnadsutveckling som alla framtidskostnader och -intäkter kan antas undergå. Erfarenhetsmässigt har man anledning att räkna med att priset uttryckt i kronor för en viss kostnadspost, t.ex. en drifts-, underhålls- eller utbyteskostnad, ökar med tiden.

I den följande beräkningsmodellen tages hänsyn till detta på följande sätt. Samtliga kostnader, alltså även framtidskostnaderna, beräknas i dagens prisläge. Ett antagande göres om en framtida förväntad allmän prisstegring av storleken I % per år. Nuvärdesberäkningarna genomföres sedan med hjälp av en effektiv ränta $R = R_o - I$ %. Detta innebär att vi antagit att alla framtidskostnader (utom energipriset, se nedan) drabbas av samma procentuella prisstegring. Den approximation som ligger i detta antagande bedömes vara fullt acceptabelt i en beräkning som innehåller andra framtidsbedömningar vars osäkerheter alltid måste vara större. Metodiken med en nuvärdesberäkning med hjälp av en effektiv ränta $R = R_o - I$ framgår av följande enkla exempel.

Antag att en energibesparande åtgärd medför en kostnad om 10 år. Denna åtgärd kostar idag 100 kr. Antag vidare att husägaren ställer upp ett förräntningskrav på satsat kapital om 8 %. Detta motsvarar hans kalkylränta, $R_o = 8$ %.

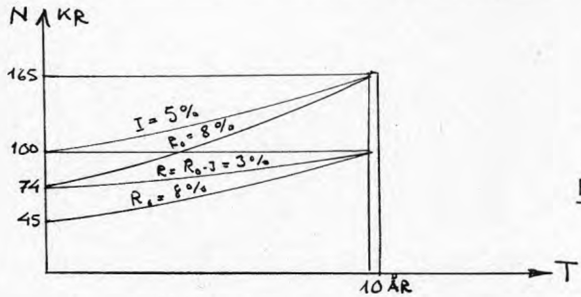


FIG. 3

Nuvärdet av 100 kr vid T = 10 år räknat med 8 % ränta är $N_o = 45$ kr. En avsättning idag av 45 kr har alltså till tidpunkten T = 10 år växt till 100 kr.

Om man emellertid antar att åtgärdens kostnad som idag är 100 kr under 10 år har växt med en årlig prisstegringstakt I = 5 %, betyder detta att åtgärden år 10 kostar inte 100 kr utan ca 165 kr. Den avsättning som skall göras idag, d.v.s. det rätta nuvärdet N, skall alltså vara större än 45 kr.

Detta värde N kan beräknas som nuvärdet av 100 kr om 10 år med en effektiv ränta $R = R_o - I = 8 - 5 = 3$ %.

Detta ger N = 74 kr.

En bedömning av värdet på den framtida prisstegringen I bör även inkludera en bedömning av i vilken omfattning man kan tillgodoräkna sig en framtida teknisk utveckling som skulle innebära att man genom nya material eller metoder kan påräkna en motverkande sänkande effekt på kostnaden för en framtida åtgärd. Erfarenheten tyder dock på att den tekniska utvecklingen inte förmår helt kompensera prisstegringarna och att man därför har anledning att räkna med värden på I som inte är av försumbar storlek jämfört med kalkylräntan R_o.

Energiprisutveckling

Av speciellt intresse i lönsamhetskalkylen av detta slag är självklart den förväntade energiprisutvecklingen. I vår matematiska modell ges möjlighet att göra en speciell ansats beträffande energiprisets årliga förändring. Energipriset beskrivs i modellen av två parametrar.

- Dagens energipris E_0
- Det värde F % med vilket energipriset årligen stiger utöver I %. F kan vara både positivt, negativt och lika med 0.

Matematisk behandling

Nuvärdesberäkningen kan ske med hjälp av gängse räntetabeller. Dessa bygger på förutsättningen att upptagen ränta kapitaliseras vid varje årsskift. Denna diskontinuitet leder till matematiskt komplicerade och svåröverskådliga uttryck vid nuvärdesberäkningarna, vilket strider mot målsättningen med detta arbete.

Vi har därför valt att genomgående utföra beräkningar av pengars tillväxt med hjälp av exponentialfunktioner av typen

$$K_T = K_0 \cdot e^{\frac{RT}{100}},$$

där K_0 = kapitalets storlek vid tiden 0

R = räntan i %

T = tiden i år

K_T = kapitalets storlek efter tiden T år.

Detta innebär att man förutsätter en kontinuerlig kapitalisering. Därmed försvinner alla diskontinuiteter och man får möjlighet att ställa upp enkla matematiska uttryck vid nuvärdesberäkningarna. De fel jämfört med traditionell ränteberäkning som därvid uppstår är små och bedömes vara acceptabla med hänsyn till den förenkling man nått.

Skillnaderna belyses genom ett exempel. Beräkna tillväxten under 10 år av 100 kr vid en ränta av 5 %.

En traditionell beräkning ger resultatet 162,88 kr, medan vår formel ger

$$K_{10} = 100 \cdot e^{\frac{5 \cdot 10}{100}} = 164,87 \text{ kr}$$

d.v.s. en avvikelse på ca 1 %.
Avvikelserna ökar med ökande R och T.

Beteckningar och sorter

Energipris	E	kr/kWh
Nuvärdeskostnad	N	kr
Kostnader för åtgärdens genomförande	A	kr
Energikostnadsbesparing	B	kr/år
Övriga kontinuerliga framtidskostnader (drift-, skötsel, småreparationer...)	C	kr/år
Med säkerhet uppträdande punktvisa framtidskostnader (utbyteskostn., underhållskostn...)	D	kr
Haverikostnad, d.v.s. kostnad för en händelse som med viss sannolikhet inträffar och som förskjuter föresatt utbytescykel	H	kr
Förräntningskrav = "kostnad för pengar"	R_0 $r_0 = R_0/100$	%
Förväntad årlig stegring av framtidskostnaderna exkl. energin	I $i = I/100$	%
"Effektiv" ränta	$R = R_0 - I$ $r = R/100$	%
Förväntad årlig stegring av energipriset utöver I	F $f = F/100$	%
Tid	T	år
Värmebehov	Q	^{o}C . h/år
Energiförlust	K	kWh/år

Matematisk modell

En åtgärd vidtas för att minska energiförbrukningen eller på annat sätt förbättra drifts- och underhållssituationen i en byggnad.

De ekonomiska konsekvenserna av denna åtgärd kan illustreras i tids-kostnadsdiagram som framgår av fig. 4 och 5.

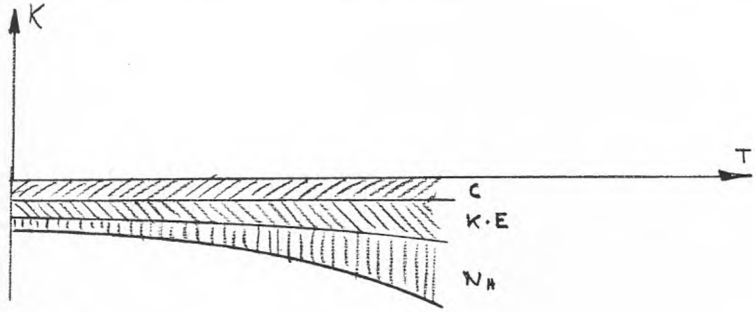


Fig. 4

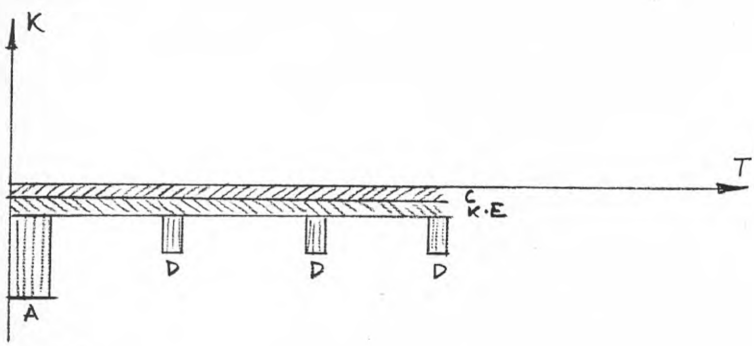


Fig. 5

I de båda diagrammen representerar ytor ovan tidsaxeln intäkter (+ värden) och ytor nedanför tidsaxeln utgifter (- värden).

I diagram 4 presenteras den situation som man har anledning att förvänta sig om åtgärden i fråga ej skulle vidtas och i diagram 5 tecknas hur ekonomibilden ter sig sedan den vidtagits.

De olika kostnadsposter som bygger upp diagrammen finns redovisade i detalj på checklistan på sid. 40. Det bör observeras att endast poster som påverkas av aktuell åtgärd behöver beaktas vilket innebär att det ej är nödvändigt att diagrammen ger en fullständig bild av den ekonomiska situationen.

Kostnads- eller intäktsposterna uppdelas i följande kategorier.

1. Anläggningskostnad A kr. Hit räknas alla de kostnader som krävs innan åtgärden får effekt. Exempelvis ingår lämpligen även hyresförluster under byggnadstiden och intrimningskostnader under denna rubrik.

2. Framtida kontinuerliga kostnader B kr/år som med säkerhet kommer att uppträda. Dessa uppdelas i en del K . E som är direkt proportionell mot förväntat energipris E och en del C som är oberoende därav. Med kontinuitet avses här att kostnaderna ifråga med fördel täckas in med en antagen kostnadspost per år. Hit räknas drifts- och underhållskostnader vari lämpligen även ingår kostnader för mindre reparationer.

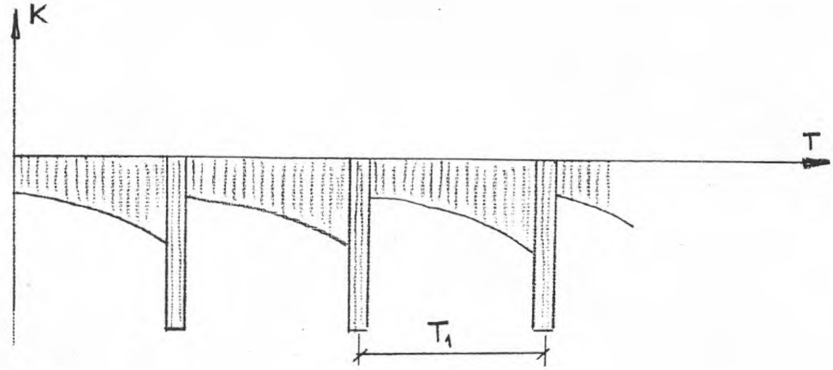
3. Framtida kostnader D kr. som med säkerhet återkommer med vissa intervall. Hit räknas t.ex. underhållsåtgärder som förväntas ske med flera års intervall.

4. Haverikostnader N_H kr/år. Hit hänföres kostnader för händelser som kan förväntas inträffa med viss sannolikhet om minst en av följande förutsättningar är uppfylld.

   a) Kostnaden för händelsen H är betydande i förhållande till A.

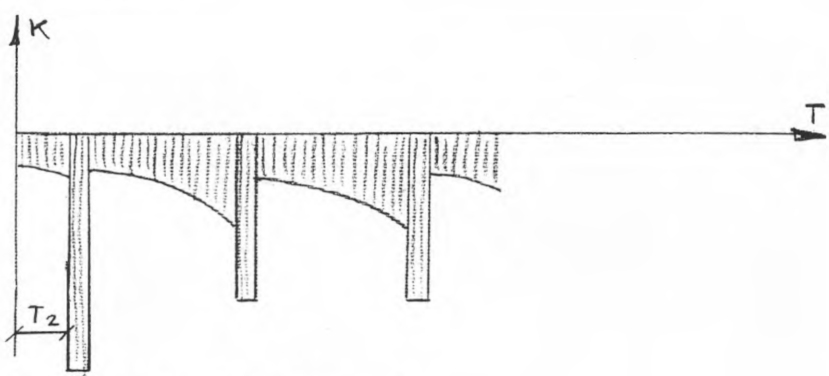
   b) Om händelsen inträffar förändras kostnadsbilden helt för den efterföljande tiden. Exempel på detta är förutsatt att utbytescykel förskjutes om en apparat kollapsar inom den tidsrymd den bedömts vara i funktion vilket illustreras av fig. 6.

För att nu kunna dedöma de ekonomiska konsekvenserna av den åtgärd som representeras av diagram på fig. 5 i jämförelse med den alternativa situation som beskrivs av diagram på fig. 4 slås diagrammen ihop till ett.



Förutsatt livslängd

Normal kostnadsbild



Kostnadsbild vid haveri vid tiden T_2

Fig. 6

Eftersom det är skillnader mellan de olika situationerna som är av intresse kan detta exempelvis ske genom att man, som framgår av diagram 7, betraktar varje kostnad i diagram 4 som en intäkt för åtgärd enligt diagram 5 och tvärs om.

Därefter slås poster med samma matematiska uppbyggnad ihop med hänsyn till tecken och man erhåller som resultat diagram 8.

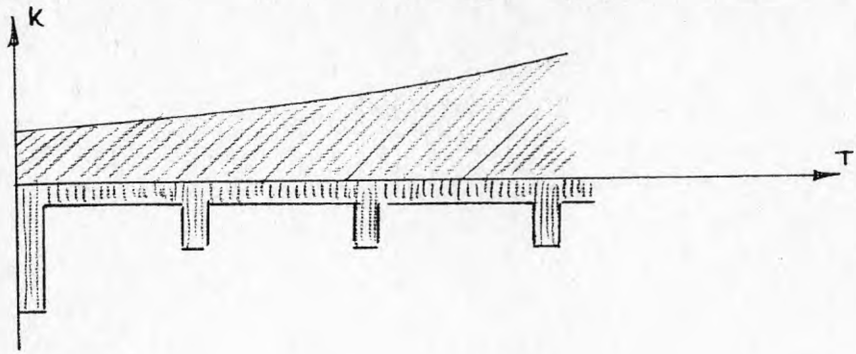


Diagram 7

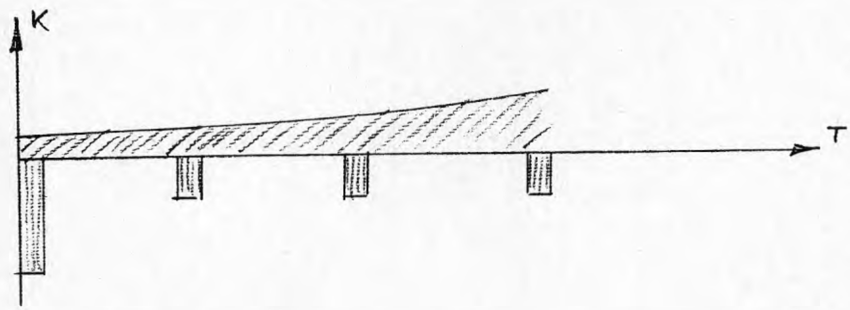


Diagram 8

Eftersom diagram 8 i princip kan grunda sig på skillnaden mellan relativt stora tal är det väsentligt att dessa tal beräknats med noggrannhet och konsekvens även om många förutsättningar kan vara osäkra till sin storlek.

Av diagram 8 kan nu vissa kvalitativa slutsatser dras när det gäller aktuell åtgärds lönsamhet men en exakt värdering är möjlig först sedan kostnadernas läge längs tidsaxeln beaktats.

Detta sker genom att den sammanlagda nuvärdeskostnaden beräknas. Nuvärdet av en kostnadspost på K kr som är aktuell om ett antal år är den penningssumma som idag måste avsättas för att till tidpunkten i fråga vid vald kalkylränta ha växt till K kr. På motsvarande sätt kan en framtida intäktspost ses som en minskning av dagens investeringsbehov.

Denna nuvärdeskostnadsberäkning kan t.ex. ske med hjälp av gängse räntetabeller. Vi väljer emellertid att beskriva penningens tillväxt med hjälp av exponentialuttryck.

Detta ger resultat som något avviker från vad som erhålles vid traditionell beräkning men de uttryck som framkommer är bekvämare att handskas med matematiskt och vidare ger de större skärpa beroende på att alla diskontinuteter försvinner. Skillnaderna i beräkningsresultaten är för övrigt så små att de kan försummas i jämförelse med den exakthet med vilken framtida ränteläge och energipris kan bedömas.

I diagram 9 avbildas kostnaderna enligt diagram 8 med sitt nuvärde vilket medför att diagramytorna nu direkt kan jämföras med varandra. Detta innebär t.ex. att vid den tidpunkt T_0 då intäktsytan II är lika stor som kostnadsytorna I har åtgärden i fråga förräntat sig. Detta innebär matematiskt att nuvärdet då är 0 och att åtgärden härefter ger vinst.

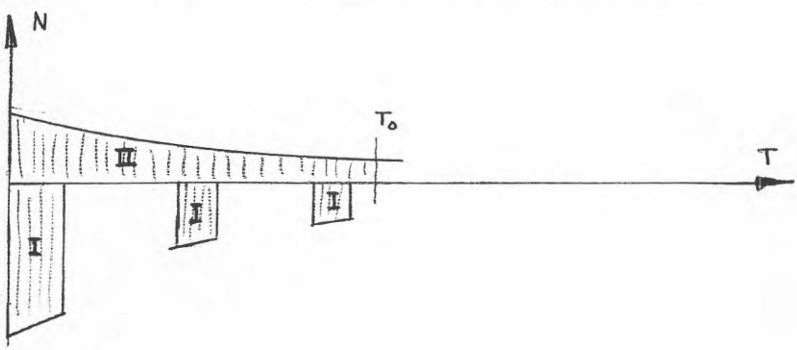


Diagram 9

I regel kan den årskostnadsbesparing B, som blir följden av en investering A, helt eller till betydande del matematiskt tecknas på följande enkla sätt

$$B = C + K \cdot E \qquad (1)$$

där C är en konstant kostnads- eller intäktsdel oberoende av energipriset E och K . E är en intäktsdel direkt proportionell mot energipriset.

Vid beräkning av nuvärdet av funktion (1) skall man utgå från det värde på räntan = R_0 % man i aktuell situation kan förvänta sig få som utdelning vid en alternativ användning av pengarna.

Vid en förväntad årlig stegring av framtida kostnader exkl energipriset med I % skall dock beräkningarna genomföras för en effektiv ränta

$$R = R_o - I \%$$

Nuvärdet N av B för tiden T_1 år framåt kan härmed vid ett energipris E som följer den allmänna prisutvecklingen tecknas

$$N = \int_o^{T_1} (C + K \,.\, E) \, dT \,.\, e^{-rT}$$

där $r = \frac{R}{100}$

$$N = (C + K \,.\, E) \frac{1 - e^{-rT_1}}{r} \qquad (2)$$

Värdet av $\frac{1 - e^{-rT_1}}{r} = n_K$ finns tabellerat för olika r och T_1-värden i tabell 1 sid. 136.

Det är nödvändigt att studera konsekvenserna av att energipriset avviker från den allmänna kostnadsutvecklingen.

En rimlig ansats är härvid att anta att energikostnaden årligen stiger med F % utöver I %.

Om dagens energipris är E_o kan då priset vid tidpunkten T tecknas

$$E_o \,.\, e^{\frac{F \,.\, T}{100}} = E_o \,.\, e^{fT}$$

och årskostnadsbesparingen blir

$$C + K \,.\, E_o e^{fT}$$

Nuvärdet av besparingen mellan tidpunkterna T och T + dT blir härmed

$$e^{-rT} \,.\, dT \, (C + K \,.\, E_o e^{fT})$$

och det totala nuvärdet av besparingen fram till och med tidpunkten T_1 blir

$$N = \int_o^{T_1} e^{-rT} \,.\, dT \, (C + K \,.\, E_o \,.\, e^{fT})$$

$$N = \frac{C\,(1 - e^{-rT_1})}{r} + \frac{KE_o\,(1 - e^{-(r-f)T_1})}{r - f} \qquad (3)$$

I specialfallet att r - f = 0 erhålles

$$N = \frac{C\,(1 - e^{-rT_1})}{r} + KE_o\,.\,T_1 \qquad (4)$$

Nuvärdet av en åtgärd i energibesparande syfte kan alltså tecknas

$$N = -A + \frac{C\,(1 - e^{-rT_1})}{r} + \frac{KE_o\,(1 - e^{-(r-f)T_1})}{r - f} \qquad (5)$$

Lönsamhet kan sägas föreligga då N = 0. Då man är speciellt intresserad av hur energivinsten påverkar kostnadsbilden bör det första beräkningssteget bestå i att man beräknar

$$A_{red} = A - C\left(\frac{1 - e^{-rT_1}}{r}\right) \qquad (6)$$

vilket ger lönsamhetsvillkoret

$$\frac{A_{red}}{K\,.\,E_o} = \frac{1 - e^{-(r-f)T_1}}{r - f} \qquad (7)$$

I ett koordinatsystem med tiden T som horisontell axel uppritas ni i diagram 10 funktionen

$\frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$ för olika värden på r - f.

I diagram 10 placeras sedan i staplar vars höjd representeras av kvoten mellan A_{red} och K . E_o varvid tidpunkten då åtgärden har förräntat sig kan avläsas såsom exemplifieras i diagrammet.

Kvoten mellan A_{red} och KE_o är ett utmärkt mått på en åtgärds energibesparingseffekt och eftersom den är åtkomlig för alla typer av energibesparande åtgärder är denna kvot mycket lämplig vid jämförelser mellan olika åtgärder i synnerhet om dessa är av olika natur.

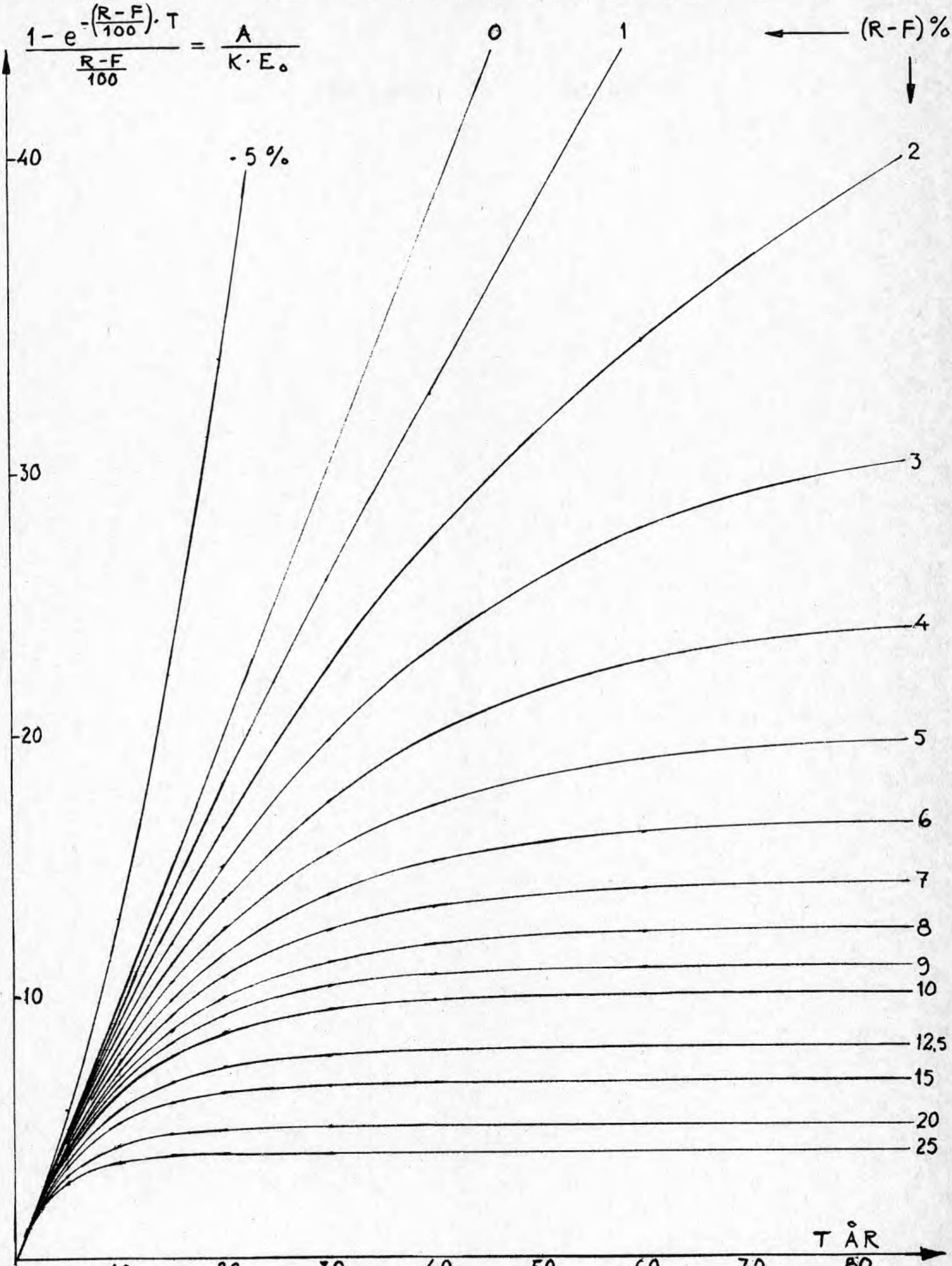

$$\frac{1-e^{-\left(\frac{R-F}{100}\right)\cdot T}}{\frac{R-F}{100}} = \frac{A}{K\cdot E_0}$$
(R-F)%
-5 %
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12,5
15
20
25
40
30
20
10
T ÅR
10
20
30
40
50
60
70
80

DIAGRAM 10

Då f är 0 kan tidpunkten T_L för lönsamhet lösas ur (5)

$$T_L = -\frac{1}{r}\,\ell n\left(1 - \frac{Ar}{C + E_oK}\right) \qquad (8)$$

Negativt värde under parentesen innebär att åtgärden i fråga ej kan bli lönsam ur energibesparingssynpunkt.

Då f är skilt från 0 kan T_L ej explicit lösas ur (5). Man finner emellertid att T_L ligger mellan följande gränser

$$-\frac{1}{r-f}\,\ell n\left(1 - \frac{A}{\frac{C}{r} + \frac{E_oK}{r-f}}\right) < T_L < -\frac{1}{r-f}\,\ell n\left(1 - \frac{A}{\frac{C}{r-f} + \frac{E_oK}{r-f}}\right) \qquad (9)$$

En annan typ av kostnader av intresse är sådana som kan förväntas med jämna intervall i framtiden.

Den första av dessa kostnader förutsättes således uppstå om T_1 år, ränta som $2T_1$ år o.s.v. till n . T_1 år. Om värdet för var och en av dessa kostnader betecknas D blir det sammanlagda nuvärdet av dem

$$N = D\,(e^{-T_1r} + e^{-2T_1r} + e^{-3T_1r} \,\ldots\ldots\ldots\ldots\, e^{-nT_1r})$$

Detta uttryck kan omformas till

$$N = De^{-T_1r}\,\frac{1 - e^{-nT_1r}}{1 - e^{-T_1r}} \qquad (10)$$

vilket är bekvämare att använda om n är stort.

Då siffervärdet på nT_1r är stort gäller

$$N = \frac{De^{-T_1r}}{1 - e^{-T_1r}} \qquad (11)$$

värden på funktionen $nD = \dfrac{e^{-T_1r}}{1 - e^{-T_1r}}$ redovisas i tabell 3 sid. 141.

I tabell 2 ges värden på $e^{-Tr} = L1$.

Om man istället befinner sig i det läget att den första kostnaden inträffar om T_2 år och de följande sedan i intervall om T_1 år blir nuvärdeskostnaden istället

$$N = D\,(e^{-rT_2} + e^{-r(T_2+T_1)} + e^{-r(T_2+2T_1)} \ldots\ldots\ldots\ldots)$$

$$= De^{-rT_2}\,(1 + e^{-rT_1} + e^{-2rT_1} + e^{-3rT_1} \ldots\ldots\ldots\ldots)$$

$$= \frac{D \,.\, e^{-rT_2}}{1 - e^{-rT_1}} \qquad (12)$$

där T_2 således är tidpunkten fram till första byte och T_1 är det framtida bytesintervall som härefter antages gälla.

Ökad ålder för en byggnadsdel eller apparat medför i regel ökade kostnader. Anledningarna till detta kan vara många men som regel torde man kunna beskriva det som en ökad risk för att en kostnadsbärande händelse skall drabba byggnadsdelen eller apparaten i fråga.

Sannolikheten för att en sådan kostnadsbärande händelse skall ha drabbat apparaten före tidpunkten T kan tecknas

$$p = p_o \left(\frac{T}{T_o}\right)^n \qquad (13)$$

Tiden T_o betecknar här ett praktiskt övre gränsvärde på apparatens livslängd. Ett stort värde på siffran n innebär att sannolikheten för att händelsen inträffar ökar starkt mot slutet av livslängden. Värdet 1 innebär konstant risk.

Sannolikheten för att händelsen inträffar inom tiden dT blir härmed

$$p_o\left[\left(\frac{T + dT}{T_o}\right)^n - \left(\frac{T}{T_o}\right)^n\right] = dT \,.\, n \,.\, \frac{T^{n-1}}{T_o^n} \,.\, p_o = dp \qquad (14)$$

Om kostnaden för händelsen i fråga betecknas H kan nuvärdeskostnaden N_H för en ny apparat vid ränteläget R tecknas

$$N_{H_o} = \int_o^{T_1} p_o \,.\, H \,.\, e^{-rT} \,.\, dT \,.\, n \,.\, \frac{T^{n-1}}{T_o^n} \qquad (15)$$

Om apparaten eller byggnadsdelen vid nuläget har åldern T_2 år belastas den av nuvärdesriskkostnaden N_H

$$N_H = \frac{H \cdot n \cdot p_o}{T_o^n} \int_0^{T_1} (T + T_2)^{n-1} e^{-rT} dT$$

för $T_1 \leq T_o - T_2$

$$N_H = \frac{H \cdot n \cdot p_o}{T_o^n \cdot r^n} \Big\{ \Big[e^{-rT_2} r^{n-1} \cdot T_2^{n-1} + r^{n-2} \cdot T_2^{n-2} (n-1)$$

$$+ r^{n-3} \cdot T_2^{n-3} (n-1)(n-2) \ldots\ldots \Big] - e^{-r(T_1+T_2)} \Big[r^{n-1} \cdot (T_1 + T_2)^{n-1} +$$

$$+ r^{n-2} \cdot (T_1 + T_2)^{n-2} (n-1) \ldots\ldots\ldots \Big] \Big\}$$

eller

$$N_{H_o} = \frac{H \cdot n \cdot p_o}{T_o^n \cdot r^n}^{n-1} \Big[L_n (rT_2) - L_n (rT_1 + rT_2) \Big] \qquad (16)$$

där koefficienterna L_n för olika n och rT värden finns beräknade i tabell 2.

En kostnadsbärande händelse av speciellt intresse i detta sammanhang är att apparaten kollapsar. N nuvärdet för de kostnader som direkt sammanhänger med haveririsken kan för $T_2 = 0$ inom $T_1 \leq T_o$ beräknas enligt (16). Härvid bör beaktas att ett haveri ofta medför betydligt större kostnader än ett planerat utbyte.

Uttryck (16) ger emellertid ej hela kostnadskonsekvensen av ett haveri. Att apparaten ifråga måste bytas ut T_1 - T tidigare än beräknat medför att nuvärdeskostnaden ökar med

$$N_{Go} = N_{So} \int_0^{T_1} (e^{-rT} - e^{-rT_1}) \frac{T^{n-1}}{T_o^n} \cdot n \cdot dT \qquad (17)$$

där N_{So} är den totala nuvärdeskostnaden för haveriet ifråga.

Dessutom skall i de fall apparaten ej havererat då $T = T_1$ kostnaden för en i förväg förberedd installation D_n ersättas. Härav tillkommer

$$N_{no} = e^{-rT_1} \cdot D_n \cdot \left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right] \qquad (18)$$

Uttrycken (14), (15) och (16) ger oss sambandet

$$N_{So} = N_{Ho} + N_{Go} + N_{no} \qquad (19)$$

eller

$$N_{So} = \frac{H \cdot n \cdot p_o}{T_o^n \cdot r^n} \left[L_n(0) - L_n(rT_1)\right] +$$

$$+ N_{So} \int_o^{T_1} (e^{-rt} - e^{-rT_1}) \cdot \frac{T^{n-1}}{T_o^n} \cdot n \cdot dT +$$

$$+ e^{-rT_1} \cdot D_n \left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right]$$

$$N_{So} = \frac{(H + N_{So}) \cdot n \cdot p_o}{T_o^n \cdot r^n} \left[L_o(0) - L_n(rT_1)\right] - \frac{N_{So} \cdot n}{T_o^n} e^{-rT_1}$$

$$\left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right] + D_n \cdot e^{-rT_1} \left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right]$$

$$N_{So} = \frac{\frac{H \cdot n}{T_o^n \cdot r^n}\left[L_n(0) - L_n(rT_1)\right] + D_n \cdot e^{-rT_1}\left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right]}{1 - \frac{n}{T_o^n \cdot r^n}\left[L_n(0) - L_n(rT_1)\right] - e^{-rT_1}\left[1 - \left(\frac{T_1}{T_o}\right)^n\right]} \qquad (20)$$

I tabell 2 sid. 139 finns värden på $L_n(0)$, $L_n(rT_1)$ och $(e^{-rT_1}$ redovisade.

Med hjälp av uttryck (20) kan nu gynnsammaste utbytesfrekvens för en apparat beräknas.

Om man i stället betraktar en apparat som är T_2 år gammal gäller definitionsmässigt fortfarande att sannolikheten för att den skall ha kollapsat vid åldern T_o skall vara 1,0.

Detta uppfylles om man sätter sannolikheten för att kollapsen ifråga skall inträffa under tiden dT till

$$dp = dT \cdot \frac{(T + T_2)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n} \cdot n$$

Därmed erhålles

$$N_H = \int_o^{T_1-T_2} H \cdot e^{-rT} \frac{(T_2 + T)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n} \cdot n \cdot dT$$

$$N_G = \int_o^{T_1-T_2} N \cdot S_o \left(e^{-rT} - e^{-r(T_1-T_2)}\right) \cdot \frac{(T_2 + T)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n} \cdot n \cdot dT$$

$$N_n = D_n - e^{-r(T_1-T_2)} \left[1 - \int_o^{T_1-T_2} \frac{(T_2 + T)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n}\right] dT$$

vartill kommer kostnaderna för $T > T_1 - T_2$

$$N_R = N_{So} \cdot e^{-r(T_1-T_2)}$$

Nuvärdeskostnaden N_S av kollapsrisken för en apparat med åldern T_2 kan nu tecknas

$$N_S = N_H + N_G + N_n + N_R$$

$$N_S = \int_0^{T_1-T_2} N \cdot e^{-rT} \frac{(T_2 + T)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n} \cdot n \cdot dT +$$

$$+ \int_0^{T_1-T_2} N_{So} \cdot n \cdot \left[e^{-rT} - e^{-r(T_1-T_2)} \right] \frac{(T_2 + T)^{n-1}}{T_o^n - T_2^n} \cdot dT$$

$$+ D_n \cdot e^{-r(T_1-T_2)} \left[1 - \frac{T_1^n - T_2^n}{T_o^n - T_2^n} \right] + N_{So} \cdot e^{-r(T_1-T_2)}$$

$$N_S = \frac{(H + N_{So}) \cdot n \cdot e^{rT_2}}{(T_o^n - T_2^n)\, r^n} \left\{ - e^{-rT_1} \left[r^{n-1} T_1{}^{n-1} + r^{n-2} \cdot T_1{}^{n-2} \cdot \right. \right.$$

$$\left. (n - 1) + r^{n-3} T_1{}^{n-3} (n - 1)(n - 2) \ldots\ldots\ldots \right] +$$

$$\left. + e^{-rT_2} \; r^{n-1} T_2{}^{n-1} + r^{n-2} T_2{}^{n-2} (n - 1) + r^{n-3} T^{n-3} (n-1)(n-2) \ldots\ldots \right] \Big\}$$

$$- N_{So} \cdot e^{-rT_1} \cdot e^{rT_2} \frac{T_1^n - T_2^n}{T_o^n - T_2^n}$$

$$+ D_n \cdot e^{-r(T_1-T_2)} \left[\frac{T_o^n - T_1^n}{T_o^n - T_2^n} \right] + N_{So} \cdot e^{-r(T_1-T_2)}$$

$$N_S = \frac{e^{-r(T_1-T_2)}}{T_o^n - T_2^n} \left[\frac{(H + N_{So})\, n \cdot e^{rT_1}}{r^n} \left\{ L_n (rT_2) - L_n (rT_1) \right\} \right.$$

$$\left. + (N_{So} + D_n)(T_o^n - T_1^n) \right] \qquad (21)$$

Sammanfattning

Den årskostnadsbesparing B som blir följden av en energibesparande investering A kan helt eller delvis uttryckas matematiskt på följande sätt

$$B = C + K \cdot E_o^{\frac{F \cdot T}{100}}$$

där C = konstant kostnadsdel som ej beror av energikostnadsutveckling

K = en konstant

E_o = dagens energipris

T = tiden från investeringstillfället

F = den %-sats med vilken man anser att energikostnaden årligen kommer att stiga (eller sjunka) utöver den allmänna kostnadsstegringen.

Detta samband leder till att nuvärdet N av åtgärden ifråga fram t.o.m. tidpunkten T kan tecknas

$$N = - A + \frac{C\,(1 - e^{-rT})}{r} + \frac{K \cdot E_o\,(1 - e^{-(r-f)T})}{r - f}$$

där 100 r = R är lika med den ränteavkastning man kräver av åtgärden ifråga.

f = F/100.

Om åtgärden ifråga får till följd att kostnadsposter eller intäktsposter D kan förväntas uppträda med jämn intervall T_1 med första tidpunkt T_2 efter investeringstillfället ökas nuvärdet N med ΔN

$$\Delta N = D \cdot \frac{e^{-rT_2}}{1 - e^{-rT_1}}$$

Om man känner till risken för händelser som ändrar på förutsättningarna i väsentlig grad kan detta beaktas vid nuvärdesberäkningen med hjälp av beräkningsregler och tabellvärden som redovisats i föregående avsnitt.

OPTIMAL ISOLERINGSTJOCKLEK VID TILLÄGGSISOLERING

En husägare investerar i en energibesparande åtgärd som består av en tilläggsisolering med tjockleken d.

Avkastningen på investeringen består av lägre energiförbrukning under ett antal år T (lika med husets återstående livslängd eller någon annan kortare tidsrymd som husägaren väljer för sin lönsamhetsbedömning).

Både investeringen och den årliga avkastningen varierar med d.

Husägarens ekonomiska utbyte av åtgärden kan uttryckas som den totala förräntning ha får på satsat kapital under T år. Det gäller för honom att välja den isoleringstjocklek d som ger honom det bästa ekonomiska utbytet.

Sambandet mellan isoleringstjocklek d och förräntning r har ett typutseende enligt nedanstående fig. 11.

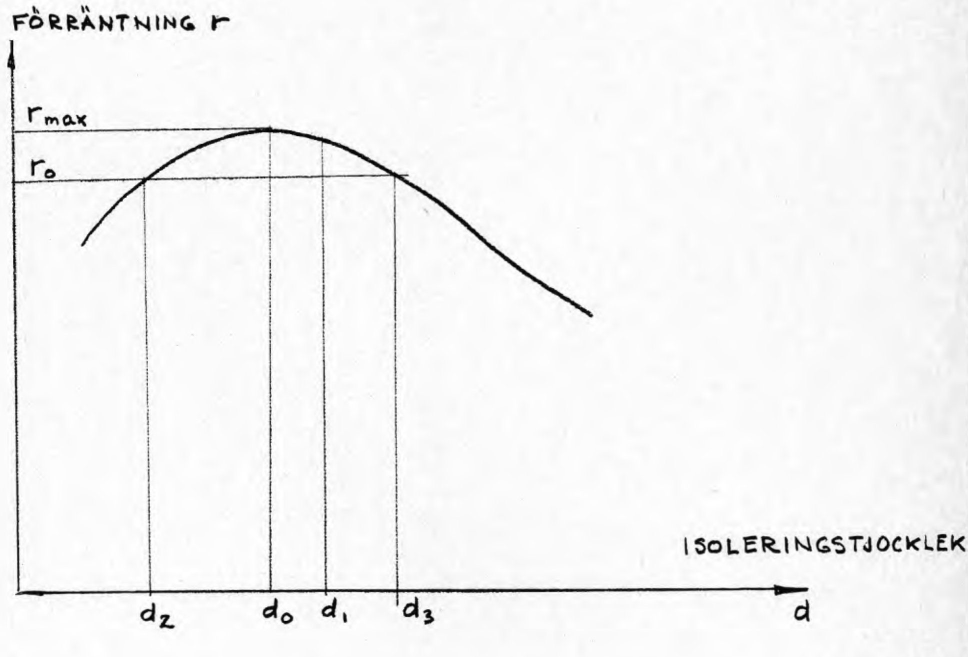


FIG. 11

Två principiellt olika definitioner av optimal isoleringstjocklek kan göras.

1. Den vanligaste definitionen synes vara den isoleringstjocklek d_o som ger den maximala förräntningen, r_{max}, på satsat kapital.

2. Den andra definitionen utgår från att husägaren ställer upp ett förräntningskrav,

   antingen som hans egen räntekostnad för lån till investeringen

   eller som den gräns som motsvarar förräntningen på alternativa investeringar.

Linjen som beskriver förräntningskravet r_o skär kurvan i punkterna d_2 och d_3. För alla isoleringstjocklekar inom detta område får husägaren en total förräntning som är minst = r_o. Den övre gränsen d_3 bör emellertid flyttas nedåt till den punkt d_1, där den marginella förräntningen motsvarar förräntningskravet r_{min}. Tilläggsinvesteringen mellan d_1 och d_3 bör inte utföras, eftersom den ger en förräntning lägre än r_o.

Med denna utgångspunkt blir definitionen följande: Optimal isoleringstjocklek d_1, där den marginella förräntningen är lika med förräntningskravet r_o. Hela intervallet d_2 - d_1 ger husägaren ett godtagbart ekonomiskt utbyte. Hans val av isoleringstjocklek påverkas även av storleken av investeringen.

Matematisk behandling

Antag att en tilläggsisoleringsåtgärd kostar A + P . d kr/m^2 där

A = en konstant kostnad per kr/m^2
d = isoleringens tjocklek i m
P = en isoleringstjockleks beroendekostnad kr/m^3.

Den byggnadsdel som skall isoleras har k-värdet k_o (W/m^2 ^{o}C).

Isoleringsmaterialet har värmemotståndet λ (W/m^{o}C).

k-värdet för tilläggsisolerad vägg k_1 beräknas enligt

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_o} + \frac{d}{\lambda}$$

d.v.s.

$$k_1 = \frac{k_o \, \lambda}{\lambda + k_o \, . \, d}$$

och $$k_o - k_1 = \frac{k_o^2 . \, d}{\lambda + k_o \, . \, d} = \frac{k_o}{1 + \frac{\lambda}{k_o \, . \, d}}$$

Genom att ha genomfört åtgärden vinner man årligen

$$\frac{k_o}{1 + \frac{\lambda}{k_o \, . \, d}} \, . \, Q \, . \, E_o \, . \, e^{fT}$$

där Q är ortens värmebehov i tusentals gradtimmar och E_o är dagsvärdet på energipriset i kr/kWh.

$f = \frac{F}{100}$ där F är den procentsats med vilken energipriset antas stiga årligen utöver den normala kostnadsutvecklingen.

Nuvärdet N_E av energibesparingen har nu enligt 3 tecknas

$$N_E = \frac{k_o}{1 + \frac{\lambda}{k_o \, . \, d}} \, . \, Q \, . \, E_o \, . \, \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

där $r = \frac{R_o}{100}$ där R_o är den nettoförräntning (utöver allm. prisstegringar) man kräver på investerat belopp.

Den tid T efter vilken åtgärden förräntat sig erhålles enligt villkoret

$$A + P \, . \, d = N_E \text{ eller}$$

$$T = - \frac{1}{r - f} \, \ell n \left(1 - \frac{(r - f)\,(P \, . \, d + A)\,\left(1 + \frac{\lambda}{k_o \, d}\right)}{k_o \, . \, Q \, . \, E_o}\right) \quad (22)$$

för r - f = 0 erhålles

$$T = \frac{(P \, . \, d + A)\,\left(1 + \frac{\lambda}{k_o \, . \, d}\right)}{k_o \, . \, Q \, . \, E_o}$$

Det värde på $d = d_{opt}$ för vilket T blir minimalt eller det relativa ekonomiska utfallet maximalt erhålles genom att söka maximalvärde på uttrycket inom parentesen.

Härav erhålles

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{A \, . \, \lambda}{P \, . \, k_o}} \quad (23)$$

och tillhörande

$$T_{min} = - \frac{1}{r - f} \, \ell n \left(1 - \frac{(r - f)\,\left(\sqrt{\frac{P\lambda}{k_o}} + \sqrt{A}\right)^2}{k_o \, . \, Q \, . \, E}\right) \quad (24)$$

För att lönsamhet med hänsyn till enbart energivinsten överhuvudtaget skall vara möjlig måste följande villkor gälla

$$r - f < \frac{k_o \, . \, Q \, . \, E}{\left(\sqrt{\frac{P\lambda}{k_o}} + \sqrt{A}\right)^2} \quad (25)$$

Detta är alltså den största möjliga räntevinst som en åtgärd kan ge.

Isoleringstjockleken d_{opt} ger den största utdelningen på nedlagt kapital och är därför ofta fördelaktigaste isoleringstjocklek.

Om vi nu har ett väggparti där av någon anledning isoleringstjockleken måste minskas med d_o m på en del α av ytan fäller följande:

För 1 - α av ytan

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_o} + \frac{d}{\lambda}$$

För α av ytan

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_o} + \frac{d - d_o}{\lambda}$$

Medelvärde

$$k_\alpha = \frac{1}{(1 - \alpha)\left(\frac{1}{k_o} + \frac{d}{\lambda}\right) + \alpha\left(\frac{1}{k_o} + \frac{d - d_o}{\lambda}\right)}$$

$$k_o - k_\alpha = \frac{k_o}{1 + \frac{\lambda}{k_o(d - \alpha d_o)}}$$

Om kostnaden för åtgärden ifråga blir

$$A + P \, . \, \alpha\,(d - d_o) + (1 - \alpha) \, . \, d \, . \, P = A + P\,(d - \alpha d_o)$$

d.v.s. i stället för d_{opt} i föregående uttryck erhålles $d_{opt} - \alpha \, . \, d_o$.

Detta kan vara en praktisk tumregel i många sammanhang d.v.s. att om man tvingas minska en optimal isoleringstjocklek d som gäller för ytan A med d_o på en del av ytan = αA så skall isoleringen på den ej berörda ytan ökas till $d + \alpha \, . \, d_o$ varvid den tunnare isoleringstjockleken alltså blir $d - d_o\,(1 - \alpha)$

Det är emellertid inte alltid som det förhåller sig så att d_{opt} enligt 23 är rätt isoleringstjocklek. Om det ekonomiska utfallet för optimal isolering ligger över vad man kräver på sin investering är det lönsamt att öka isoleringstjockleken upp till den gräns så den sista isoleringscentimetern ger krävd lönsamhet.

Denna isoleringstjocklek erhålles genom att nuvärdeskostnaden N för åtgärden i fråga

$$N = - A - P \, . \, d + \frac{Q \, . \, E_o \, . \, k_o}{1 + \frac{\lambda}{k_o \, . \, d}} \, . \, \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

vid fixa värden på r, f och T divideras med avseende på d varvid erhålles det värde på $d = d_1$ som ger minimum på N

$$d_1 = \sqrt{\frac{Q \cdot E \cdot \lambda \; (1 - e^{-(r-f)T})}{P \; (r - f)}} - \frac{\lambda}{k_o} \quad \text{m} \qquad (26)$$

då r - f = 0 finns inget minimum men den tid efter vilken åtgärden börjar gå med vinst kan beräknas enligt

$$T = \frac{(P \cdot d + A) \; (1 + \frac{\lambda}{k_o \cdot d})}{k_o \cdot Q \cdot E_o} \quad \text{år} \qquad (27)$$

vilket blir minimum för $d_1 = d_{opt}$

$$T_{min} = \frac{(\sqrt{\frac{P \cdot \lambda}{k_o}} + \sqrt{A})^2}{k_o \cdot Q \cdot E_o} \quad \text{år}$$

och nuvärdeskostnaden för väggen blir då

$$N_E = A - \frac{\lambda P}{k_o} + 2 \sqrt{\frac{P \cdot Q \cdot E_o \cdot \lambda \; (1 - e^{-(r-f)T})}{(r - f)}} \qquad (28)$$

och optimalt k-värde för väggen blir således

$$k_{opt} = \sqrt{\frac{P \cdot \lambda \cdot (r - f)}{Q \cdot E_o \; (1 - e^{-(r-f)T})}} \qquad (29)$$

På samma sätt kan man se på en nykonstruktion t.ex. en yttervägg. Kostnaden och isoleringsförmågan för denna kan i regel med tillräcklig noggrannhet beskrivas med samma uttryck.

$$K = A + P \cdot d \quad \text{kr/m}^2 \text{ och}$$

$$\frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_o} + \frac{d}{\lambda} \quad \text{m}^2/^o\text{C} \cdot \text{W}$$

där d således är isoleringstjockleken i m, A en isoleringstjockleks-oberoende kostnad i kr/m^2, P är den kostnadsandel som beror av isoleringstjocklek.

I k_o sammanfattas det värmemotstånd som ligger utanför det isoleringsskikt vars tjocklek skall beräknas och λ är isoleringsskiktets värmeledningsförmåga i W/m . ^{o}C med hänsyn till reglar m.m.

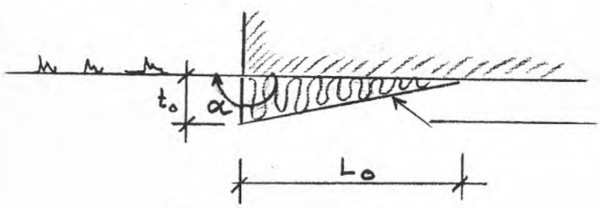
Optimal isoleringstjocklek för denna konstruktion kan alltså beräknas enligt

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{Q \cdot E_0 \cdot \lambda \,(1 - e^{-(r-f)T})}{P \cdot (r - f)}} - \frac{\lambda}{k_0} \quad \text{m} \qquad (26)$$

Hittills har enbart exempel med konstant isoleringstjocklek studerats. Ett fall där det bästa utnyttjandet av en viss mängd isoleringsmaterial nås genom att tjockleken varieras är markisolering.

Optimal användning av markisolering

Förutsättningen är att en viss mängd isoleringsmaterial V m^3/m fasad skall användas så effektivt som möjligt. Om man utgår från det renodlade fallet, golv på mark enl. fig. 12, erhålles då att isoleringens tjocklek skall variera linjärt enligt följande regler.



ytan lutar $\frac{\lambda_{isol} \cdot \alpha}{\lambda_{jord}}$

α = vinkel i rad.

FIG. 12

$$t_o = \sqrt{\frac{2\pi \cdot V \cdot \lambda_{isol}}{\lambda_{jord}}} \quad \text{m} \qquad (30)$$

$$L_o = \sqrt{\frac{2\,V \cdot \lambda_{jord}}{\lambda_{isol} \cdot \pi}} \quad \text{m} \qquad (31)$$

Den totala värmeförlusten nedåt blir härvid

$$Q \left(\frac{\lambda_{jord} \sqrt{V}}{0{,}3 \sqrt{2\pi \cdot \lambda_{isol} \cdot \lambda_{jord}} + 2\pi \sqrt{V}} + \int_{L_o}^{b} \frac{dr}{0{,}3 + r \cdot \frac{\pi}{\lambda_{jord}}} \right)$$

$$\approx Q \left(\frac{\lambda_{jord}}{2\,\pi} + \int_{L_o}^{b} \frac{dr}{0{,}3 + r \cdot \frac{\pi}{\lambda_{jord}}} \right) \quad \text{kWh/år} \qquad (32)$$

d.v.s. värmeförlusten blir

$$\frac{Q \cdot \lambda_{jord}}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \ln \frac{0{,}3 + \frac{\pi \cdot b}{\lambda_{jord}}}{0{,}3 + \sqrt{\frac{V \cdot \pi \cdot 2}{\lambda_{isol} \cdot \lambda_{jord}}}} \right) \quad \text{kWh/m år} \qquad (33)$$

Härav erhålles

$$V_{opt} = \frac{\lambda_{jord} \cdot \lambda_{isol}}{2\,\pi} \left(\sqrt{\frac{Q \cdot E_o \cdot n_k}{P \cdot \lambda_{isol}} + 0{,}0225} - 0{,}15 \right)^2 \quad m^3/m \qquad (34)$$

där Q är ortens värmebehov i tusentals gradtimmar

b = halva byggnadsbredden i m

E_o = grundvärde på energipris i kr/kWh

P = kostnad för isoleringsmaterialet i kr/m^3 då isoleringskostnaden

$n_k = \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$ = förräntningsfaktor och minsta värmeförlust blir härmed

$$\frac{Q \cdot \lambda_{jord}}{\pi} \left(\frac{1}{2} + \ln \frac{0{,}3 + \frac{\pi \cdot b}{\lambda_{jord}}}{0{,}15 + \sqrt{\frac{Q \cdot E \cdot n_k}{P \cdot \lambda_{isol}} + 0{,}0225}} \right) \quad kWh/m \text{ år} \qquad (35)$$

Vanliga λ-värden:

Lera eller dränerande sand	$\lambda_j = 1{,}4$ W/m^{o}C
Silt	$\lambda_j = 2{,}3$ W/m^{o}C
Berg	$\lambda_j = 3{,}5$ W/m^{o}C
Markisolering	$\lambda_i = 0{,}05$ W/m^{o}C

De avvikelser från den triangulära fördelningen som behöver göras av praktiska skäl har relativt liten betydelse för den totala värmeförlusten. Även en uppdelning av isoleringsmängden i ett skikt närmast under golv och ett i närheten av markytan kan göras om man bara ser till att den sammanlagda isoleringstjocklek varje cirkelbåge, med origo i skärningspunkt mellan husliv och markplan, rimligt stämmer överens med den beräknade fördelningen.

Uttrycken enligt ovan är även användbara för lutande mark eller motfyllning mot källarvägg, om man i stället för π sätter in aktuell vinkel uttryckt radianer för cirkelbågar genom jord.

På liknande sätt kan man ta hänsyn till isoleringsförmågan i bjälklags- eller väggkonstruktion genom att i stället för 0,3, 0,15 och 0,0225 sätta in m, 0,5 m och 0,25 m^2 där m är värmemotståndet i W/m^2 °C för bjälklaget eller väggen ifråga.

Man bör observera att det endast är den värmetransport som sker genom jord som beaktats och att normal sockelisolering ej ingår i de isoleringsmängder som framräknats.

Det är också nödvändigt att isoleringsmängden fördelas så att risk för uppfrysning av kantbalk ej föreligger.

Hittills har Q betraktats som en ortskonstant. Detta är riktigt endast om inomhustemperaturen hålles vid det värde som beräkningen av Q bygger på och så länge all uppvärmning sker med den uppvärmningsanordning som förutsatts.

Mindre störningar av dessa förutsättningar kan kompenseras genom överslagsmässiga justeringar av Q men om den oavsiktliga energitillförseln är stor i förhållande till Q och om behov av kylning föreligger är det motiverat med en noggrannare analys av förhållandena.

Inverkan av belysning och processenergi

Det årliga uppvärmningsbehov som föreligger på en viss ort beskrivs alltså vanligen genom ortens gradtimtal Q som är tidsintegralen av skillnad mellan utomhustemperaturen och lämplig inomhustemperatur.

Hur detta behov varierar längs året kan beskrivas med sambandet

$$Q = Q \int_0^1 \left[1 + \alpha \,.\, \cos\pi\,(2t - 1)\right] dt \quad (h \,.\, {}^oC \,.\, 10^3) \qquad (36)$$

där t = 0 representerar årets temperaturmaximum. α = koeff. som beskriver temperaturvariationen under året.

Den årliga energimängd som passerar genom 1 m^2 vägg eller bjälklag med värmegenomgångskoefficienten k $W/{}^oC\ m^2$ blir härmed

$$K_1 = k \,.\, Q \int_0^1 \left[1 + \alpha \,.\, \cos\pi\,(2t - 1)\right] dt \quad (kWh) \qquad (37)$$

Detta samband visas på diagram 13.

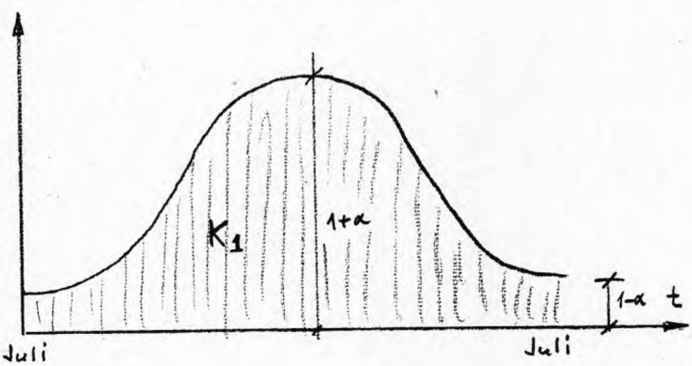


Diagram 13

Den skrafferade ytan representerar således den energimängd som krävs för uppvärmningen under året. Om kostnaden för varje del är konstant inses att ytans form är utan betydelse för beräkning av energiförlusten och det räcker med att dess storlek som med valda koefficienter = 1 beaktas.

Men nu förhåller det sig i de flesta sammanhang så, att man tillför värme på annat sätt än genom speciella uppvärmningsdon.

Betydande energimängder tillföres nämligen ofta genom personvärme, belysning och tillverkningsprocesser.

Hur denna energitillförsel varierar med tiden kan ofta med tillräcklig noggrannhet beskrivas med sambandet

$$\beta \cdot Q\ (1 + \gamma \cos\pi\ (2t - 1)) \qquad (38)$$

På fig. 2 visas hur detta samband vid normala värden på koefficienterna β och γ d.v.s.

$$\beta < \frac{2\lambda}{d} \text{ och } \gamma < \alpha$$

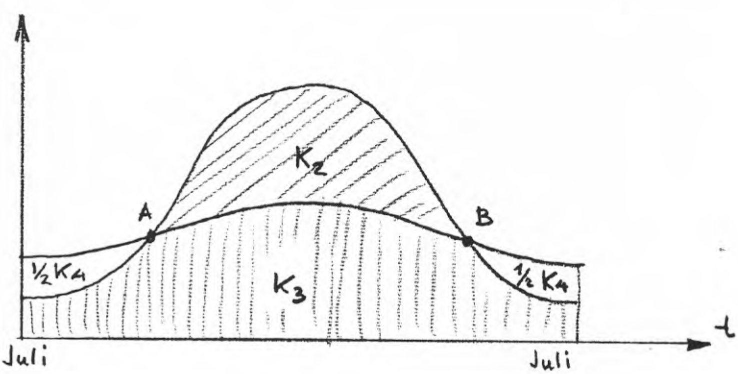


Fig. 14

Tidskoordinaten för punkterna A och B blir

$$t_A = \frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \text{ arc cos } \frac{\beta - k}{\alpha k - \beta\gamma} \qquad (39)$$

$$t_B = \frac{1}{2} + \frac{1}{2\pi} \text{ arc cos } \frac{\beta - k}{\alpha k - \beta\gamma} \qquad (40)$$

Man kan nu särskilja tre olika energimängder på diagrammet.

K_2 är den energimängd som den aktuella uppvärmningsanordningen klarar av och vars kostnad direkt bestäms av energipriset.

K_3 representerar en nyttig spillprodukt av redan utnyttjad energi och därmed ges ett betydligt lägre à-pris än K_1. I många sammanhang kan kostnaden för K_2 sättas = 0.

K_4 är också att betrakta som en spillprodukt men den är ej till nytta eftersom den medför ett kylbehov. Detta innebär att man antingen får en förhöjd temperatur under en viss tid av året eller ventilera bort värmen så långt möjligt eller installera kylmaskiner. I det sista fallet måste man beakta att kostnaden per energienhet vid kylning i regel blir betydligt större än vid uppvärmning i huvudsak beroende på stora investeringskostnader och liten driftstid.

I ett exempel för att belysa konsekvenserna av variationer i dessa förhållanden göres följande förenklingar och ansatser.

$\alpha = 1$

$\gamma = 0$

$k = \frac{\lambda}{d}$ där d är isolertjocklek i m.

Vidare införes att kostnaden för isoleringen = P kr/m^3, energipriset E_0 kr/kWh och kylpriset = $\varepsilon \, . \, E_0$ kr/kWh.

Isoleringens nuvärde som funktion av d kan härmed tecknas

$$N = P \, . \, d + \frac{E_0 \, Q\left(1 - e^{-(r-f)T}\right)}{r - f} \, 2 \, \varepsilon \left[\int_0^{\frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \operatorname{arc\,cos}\left(\frac{\beta 1}{\lambda} - 1\right)} \left(\beta - \frac{\lambda}{d} - \frac{\lambda}{d} \cos\pi \, (2t - 1)\right) dt \right.$$

$$\left. + \, 2 \int_{\frac{1}{2} - \frac{1}{2\pi} \operatorname{arc\,cos}\left(\frac{\beta d}{\lambda} - 1\right)}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{\lambda}{d} + \frac{\lambda}{d} \cos\pi \, (2t - 1) - \beta\right) dt \right] \tag{41}$$

$$N = P \,.\, d + \frac{E_o \,.\, Q\,(1 - e^{-(r-f)T})}{r - f} \left[2\varepsilon \int_{0}^{\frac{1}{2} - \frac{1}{2\lambda} \text{arc cos}\,(\frac{\beta d}{\lambda} - 1)} \beta t - \frac{\lambda t}{d} - \frac{\lambda}{2\pi d} \sin\pi\,(2t - 1) \right.$$

$$\left. + \, 2 \int_{\frac{1}{2} - \frac{\lambda 1}{2\pi} \text{arc cos}\,(\frac{\beta d}{\lambda} - 1)}^{\frac{1}{2}} \frac{\lambda t}{d} + \frac{\lambda}{2\pi d} \sin\pi\,(2t - 1) - \beta t \right] \tag{42}$$

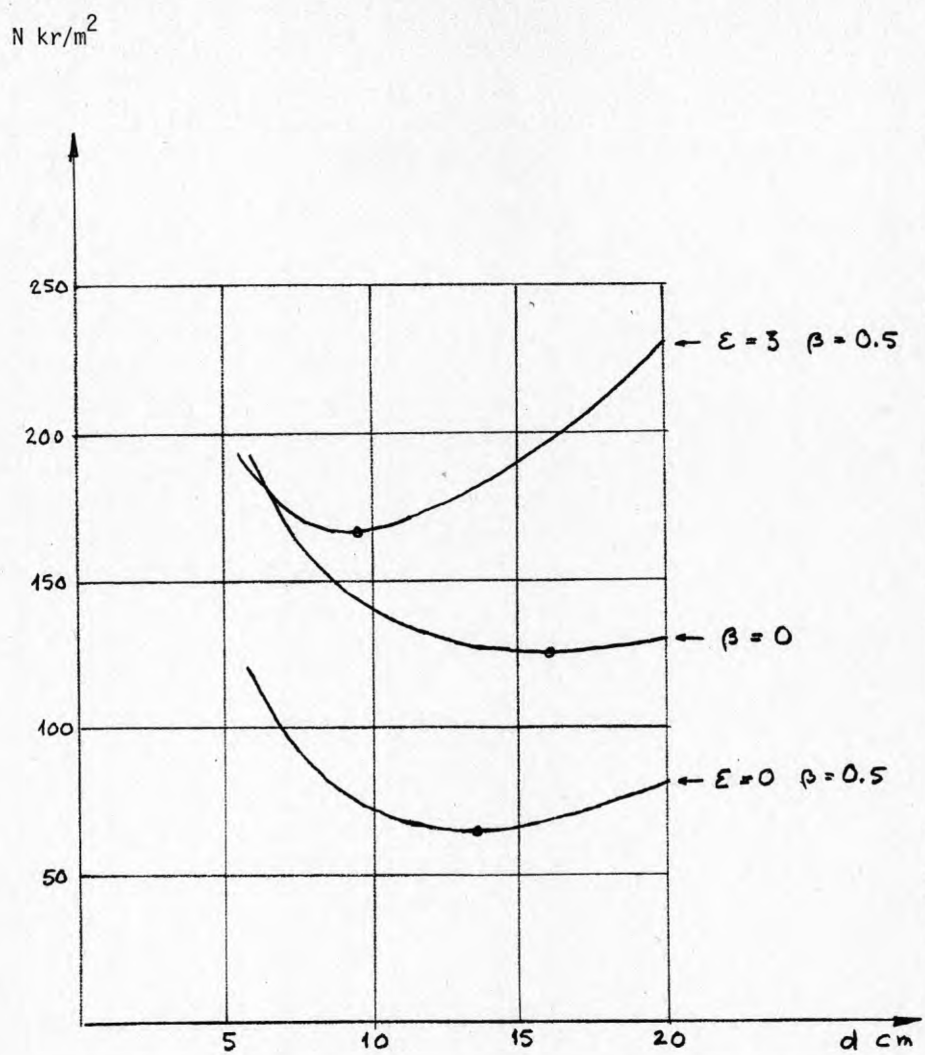
Vad detta kan innebära för optimal isoleringstjocklek framgår av diagram 14

där $P = 400$ kr/m^3

$E_o = 0{,}15$ kr/kWh

$Q = 133 \,.\, 10^3$ h ^{o}C

och $\frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f} = 10$



N kr/m^2
250
200
150
100
50
5
10
15
20
d cm
← ε = 3 β = 0.5
← β = 0
← ε = 0 β = 0.5

DIAGRAM 15

För en väggkonstruktion där sålunda optimal isoleringstjocklek är 16 cm, om man ej beaktar process- eller belysningsvärme, sjunker den optimala isoleringstjockleken till 9,5 cm eller 13,5 cm då den jämnt fördelade processvärmen uppgår till ortens halva års uppvärmningsbehov beroende på om man måste kyla eller inte.

De årskostnadsskillnader som föreligger vid de olika alternativen är av storleksordningen 50 kr/m^2 varför problemet är väl värt att studera.

En annan intressant iakttagelse man kan göra av de tre kurvorna är att optimalvärdet blir mer och mer uttalat desto större roll belysningsvärme och kylning spelar. Om man i exemplet med β = 0,5 och ε = 3 sålunda ej beaktat processvärmen och kylningen och alltså valt 16 cm isolering skulle detta medfört en ökning av nuvärdeskostnaden med ca 30 kr/m^2 vägg.

Det är väsentligt att man i detta sammanhang skiljer på belysningsvärme eller processvärme inom lokaler som enligt ovan kan innebära att isoleringstjockleken bör begränsas och värme från solstrålning för vilkens dämpning värmeisolering är obegränsat nyttig och härvid i stor utsträckning kan kompensera liten massa i konstruktionen.

Sammanfattning

En vägg eller bjälklagskonstruktion med värmegenomgångskoefficienten k_o W/m^2 ^{o}C tilläggsisoleras. Tilläggsisoleringens tjocklek är d m, dess värmeisoleringsförmåga λ W/m ^{o}C och isoleringsåtgärdens kostnad kan tecknas

$$A + d \cdot P \text{ kr/m}^2$$

Optimalt värde på isoleringstjocklek d_{opt} blir härvid

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{A \cdot \lambda}{P \cdot k_o}}$$

Av detta samband kan en del intressanta förhållanden avläsas. Det visar således att den optimala isoleringstjockleken vid tilläggsisolering är oberoende av ränteläge, energikostnad och ortens värmebehov. Vidare framgår att ju bättre isolerad väggen eller bjälklaget är desto större värde erhålles för optimal isoleringstjocklek. Detta kan förefalla paradoxalt men om man beaktar att i begreppet optimal endast innebär det bästa möjliga efter omständigheterna inses lättare att det är riktigt.

Den högsta möjliga förräntning R % en åtgärd kan ge bestäms av följande samband.

$$R = \frac{100 \cdot k_o \cdot Q \cdot E_o}{\left(\sqrt{\frac{P \lambda}{k_o}} + \sqrt{A}\right)^2} + F$$

där Q är ortens värmebehov i tusentals gradtimmar och E_o är dagsvärdet på energipriset i kr/kWh och F är den procentsats med vilken energipriset antas stiga årligen utöver den normala kostnadsutvecklingen.

Om man vill isolera intill dess att den sista isoleringscentimetern ger förräntningen R % blir isoleringstjockleken d_1

$$d_1 = \sqrt{\frac{100 \cdot Q \cdot E_o \cdot \lambda \left(1 - e^{\frac{-(R-F)T}{100}}\right)}{P\,(R - F)}} - \frac{\lambda}{k_o}$$

Detta samband är också giltigt vid beräkning av isoleringstjocklek i nykonstruktioner.

CHECKLISTA, ARBETSGÅNG

1. EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR OCH BEDÖMNINGAR

1.1 Förräntningskrav

Bestäm vilken avkastning man kräver på investeringen i den energibesparande åtgärden i form av en räntesats R_0 (%).

Bestämningen av R_0 kan t.ex. grundas på kostnaden (annuiteten) för pengar som lånats till åtgärden, eventuellt med viss säkerhetsmarginal.

Bestämningen av R_0 kan också göras genom en jämförelse med alternativa användningar av investeringskostnaden.

Räntesatsen R_0 skall minskas med eventuella räntesubventioner som utgår för åtgärden.

1.2 Förräntad årlig prisstegring

Bedöm den årliga stegringen av kostnadsnivån för de med åtgärden förknippade framtida kostnaderna och intäkterna ("inflationstakten"), dock ej för energipriset. Uttryckes med talet I (%).

1.3 Effektiv ränta

Skillnaden mellan förräntningskravet R_0 (minskat med ev. räntesubvention) och prisstegringstakten I utgör den effektiva räntan R (%), som skall användas i de kommande nuvärdesberäkningarna.

1.4 Förväntad speciell prisutveckling för energipriset

Bedöm om energipriset i framtiden kommer att få en prisutveckling som avviker från den allmänna prisstegringen I. Skillnaden uttryckes med talet F (%). F kan vara både positivt och negativt.

Exempel: En person kräver 12 % avkastning på satsat kapital för en energibesparande åtgärd. Han bedömer att prisnivån för fortsättningskostnaderna kommer att stiga med i medeltal 4 % varje år medan energipriset antas öka med 7 % årligen.

Han skall räkna med värdena

$R = 12 - 4 = 8$ % $\quad r = 0,08$

$F = 7 - 4 = 3$ % $\quad f = 0,03$

2. ÅTGÄRDEN OCH DESS KONSEKVENSER

Principfigur med beteckningar

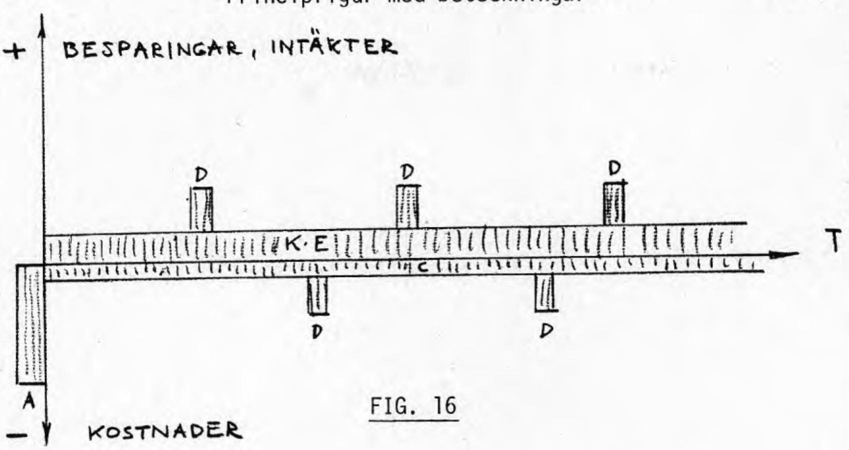


FIG. 16

2.1 Kostnader för åtgärdens genomförande (kostnad A)

2.11 Projekterings- och utredningskostnader

2.12 Anläggningskostnad

Består av arbetskostnader
materialkostnader
underentreprenörskostnader
allmänna omkostnader

2.13 Hyresbortfall eller avbrottskostnader vid åtgärdens genomförande

2.14 Eventuella bidrag för åtgärdens genomförande

Som regel kan samtliga kostnader A med tillräcklig noggrannhet sägas uppstå vid tidpunkten T = 0, d.v.s. den tidpunkt då effekten på fortsättningskostnaderna startar.

Om någon delkostnad, t.ex. 2.11, uppstått väsentligt tidigare än T = 0 kan man givetvis kompensera för detta genom att betala kostnaden med räntekostnaden för tidsdifferensen.

2.2 Energikostnadsbesparing som följd av åtgärden (kostnad K . E)

2.21 Primär energikostnadsbesparing. Avser den besparing man direkt åsyftat genom åtgärden.

2.22 Sekundär inverkan på energiförbrukningen genom ändrade byggfysikaliska förhållanden.

Exempel: En tilläggsisolering kan ge högre yttemperaturer på ytterväggens insida, vilket medför att en lägre rumstemperatur kan accepteras med bibehållen komfort.

2.23 Sekundär inverkan på energiförbrukningen genom att behov av kompenserande åtgärder uppstår.

Exempel: Tätningsåtgärder för att minska ofrivillig ventilation kan gå så långt att en styrd ventilation måste tillgripas i ökad omfattning.

2.3 Åtgärdens inverkan på övriga kontinuerliga (årliga) framtidskostnader (kostnad C)

2.31 Kostnader för drift, skötsel, reparationer och kontinuerligt underhåll.

2.32 Eventuella skatte- och försäkringseffekter av åtgärden.

2.33 Intäktspåverkan

Exempel: Ökade hyresintäkter på grund av ökad lokalkvalitet.

Exempel: Minskade hyresintäkter på grund av ytminskning vid invändig tilläggsisolering.

Kostnaden C räknas i kr/år. Den kan vara både positiv och negativ beroende på om besparingarna/intäktsökningarna eller kostnaderna/intäktsminskningarna överväger.

2.4 Atgärdens effekt i form av punktvisa framtidskostnader (kostnad D)

Bedöm vilken effekt åtgärden har i form av punktvisa framtidskostnader.

antingen som utbyteskostnader för en installerad apparat e.d. med kortare livslängd än huset som helhet

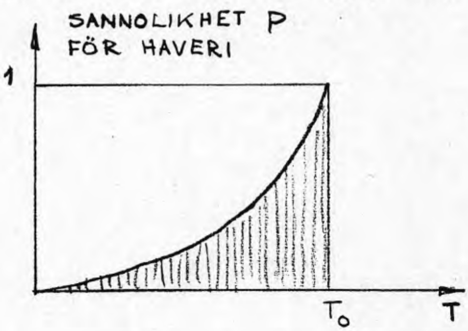
eller som en ändring i de periodiska underhållskostnaderna genom att en tidigare underhållscykel ersätts eller överlagras av en ny.

2.5 Riskkostnad för haveri (kostnad N_H, ej illustrerad i figuren)

Denna typ av kostnader skall belasta åtgärder förknippade med apparater där man riskerar ett funktionsmässigt haveri, som man inte kan acceptera. Haveriet tvingar till ett direkt utbyte av apparaten även om den kalkylerade utbytesperioden inte löpt ut. Ofta blir dessutom utbyteskostnaden vid ett haveri större än om apparaten bytts på ett planerat sätt.

Ett exempel på en sådan apparat är en värmepanna.

Haveririsken här kan beskrivas på följande sätt:



$$p = \left(\frac{T}{T_o}\right)^n$$

FIG. 17

T_o = Praktiskt övre gränsvärde för livslängden, då sannolikheten för haveri = 1.

n = Ett tal som ger haveririsken för olika T.

Det gäller att planera för en utbytescykel med ett intervall $T_1 < T_o$ som är optimalt m.h.t. haveririsken. Trots detta skall åtgärden/apparaten belastas med en riskkostnad som täcker kostnaderna för ett haveri under den planerade cykeln.

Det gäller att bedöma värdena T_o och n. Med hjälp av (20) och (16) kan man därefter beräkna både optimal utbytestidpunkt T_1 och riskkostnaden N_H.

2.6 Åtgärdens eventuella effekt på husets livslängd

Avslutningsvis bör man bedöma om den aktuella åtgärden kan ha någon inverkan på den återstående livslängden hos huset.

Utslagsgivande kan vara både den tekniska och den funktionella livslängden. Effekten kan vidare vara både positiv och negativ.

Exempel: En byggnad med höga energikostnader och låg klimatstandard kan genom energibesparande åtgärder bli marknadsmässigt mer attraktivt, vilket ger anledning att kalkylera med en större återstående livslängd (avskrivningstid).

Exempel: I vissa äldre byggnader kan en åtgärd, t.ex. i form av en tilläggsisolering, medföra sådana ändrade fysikaliska betingelser för huset att dess återstående tekniska livslängd allvarligt påverkas.

Beräkningsgång

Anläggningskostnad

Det ekonomiska utfallet för en åtgärd med energibesparande inslag sökes. Först beräknas anläggningskostnaden - A kr varvid checklistan tillämpas.

Vid val av ingångsvärden på ingående komponenter bör avsnittet om optimal dimensionering beaktas.

Till anläggningskostnaden räknas lämpligen alla de kostnader som krävs innan åtgärden får avsedd effekt.

Anläggningskostnaden betraktas som ett nuvärde d.v.s. den kan anses vara koncentrerad till en enda tidpunkt som också skall vara utgångsläge vid nuvärdesberäkningar av framtida kostnader eller intäkter.

Definitionsmässigt betraktas alla intäkter som positiva och kostnader som negativa varför A försetts med minustecken. I fortsättningen användes begreppen kostnader och intäkter fritt; beräkningsresultatet får avgöra om det är fråga om positiva eller negativa storheter.

Till A skall nu läggas nuvärdet av framtida intäkter. Med hänsyn till hur dessa kan beräknas uppdelas dessa i följande kategorier.

1. Intäkter som med säkerhet förväntas uppträda och som är konstanta eller kontinuerligt varierande i tiden. (B kr/år).

2. Intäkter eller kostnader som med säkerhet förväntas uppträda vid skilda tidpunkter eventuellt med jämna intervall (D kr). Om kostnadsposterna eller intervallen är små kan det vara fördelaktigt att fördela kostnaderna så att nuvärdet kan beräknas som för kategori 1.

3. Kostnadsbärande händelser (H kr) som med en viss förutsebar risk uppträder under den livslängd som förutsatts och som i och med att de inträffar förändrar den efterföljande kostnadsbilden.

Framtida kontinuerligt uppträdande intäkter

En del av den framtida kostnadsbilden består av intäkter eller kostnader som är konstanta eller varierar kontinuerligt med tiden, eller som åtminstone kan täckas in av en konstant eller jämnt varierande kostnadspost per år.

Med tillräcklig noggrannhet kan dessa kontinuerliga kostnader eller intäkter i regel i dagens penningsvärde tecknas

$$B = C + K \, . \, E$$

där C är en konstant del kr/år och K . E är en del som varierar med energipriset E kr/kWh.

Nuvärdet av B = N_B beräknas för följande räntesatser

R_o = Krävd förräntning uttryckt i %.

J = Årlig procentuell stegring av kostnadsnivån för de framtida kostnader och intäkter som är förknippade med åtgärden i fråga och ej direkt beror av energipriset.

F = Årlig procentuell stegring av energipriset utöver I.

Om dagens energipris = E_o erhålles vid dessa förutsättningar

$$N_B = C \, . \, \frac{1 - e^{-rT}}{r} + K \, . \, E_o \, . \, \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

där $r = \frac{R_o - J}{100}$ och $f = \frac{F}{100}$

och T är den tidsrymd i år inom vilken åtgärden studeras.

Värden på funktionen $\frac{1 - e^{-rT}}{r}$ återfinnes i tabell 1 sid. 136.

Framtida punktvis uppträdande kostnader

En del av de framtida kostnaderna eller intäkterna uppträder punktvis. Nuvärdet N_D av en sådan kostnad D som inträffar om T år kan tecknas

$$N_D = D \cdot e^{-rT}$$

Om flera kostnadsposter om vardera D kr förväntas uppträda med intervallen T_1 år och att den första av dessa kostnadstillfällen inträffar om tiden T_2 år erhålles det sammanlagda nuvärdet av dessa för $T = T_2 + nT_1$ år

$$N_D = \frac{D \cdot E^{-rT_2}(1 - e^{-nrT_1})}{1 - e^{-rT_1}}$$

Värden på funktionen $e^{-\alpha} = L_1(\alpha)$ återfinnes i tabell 1 i första kolumnen.

Haverikostnader

Sannolikheten för att ett haveri eller en annan likvärdig kostnadsbärande händelse skall drabba en byggnadsteknisk åtgärd före tidpunkten T kan tecknas

$$P = P_o \cdot \left(\frac{T}{T_o}\right)^n \qquad P_o \leqslant 1$$

där T_o är ett övre praktiskt gränsvärde för åtgärdens livslängd.

Om den totala kostnaden för haveriet inkl. återställande av åtgärden i ursprungligt skick är H kr i dagens penningsvärde och ett återställande av åtgärden i ursprungligt skick vid en i förväg planerad tidpunkt om T_1 år är D kr kan nuvärdet av att vidmakthålla åtgärden för all framtid beräknas enligt följande uttryck

$$N_{So} = \frac{\dfrac{H \cdot n}{T_o^n \cdot r^n}\left[L_n(o) - L_n(rT_1)\right] + D \cdot e^{-rT_1}\left[1 - \left(\dfrac{T_1}{T_o}\right)^n\right]}{1 - \dfrac{n}{T_o^n \cdot r^n}\left[L_n(o) - L_n(rT_1)\right] - e^{-rT_1}\left[1 - \left(\dfrac{T_1}{T_o}\right)^n\right]}$$

Det värde på T_1 som ger minimum på N_{So} väljes som utbytesintervall. Av praktiska skäl kan det dock ofta vara befogat att runda av detta T_1 värde med hänsyn till övriga underhålls- och utbytescykler.

$$L_n(\alpha) = e^{-\alpha} \left[\alpha^n + \alpha^{n-1} (n-1) + \alpha^{n-2} (n-1)(n-2) \ldots\ldots \right.$$
$$\left. \ldots\alpha (n-1)! + (n-1)! \right]$$

$L_n(\alpha)$ finns beräknat för olika α och n-värden i tabell 2

Om resultatet av åtgärden ifråga varit i funktion under T_2 år kan motsvarande nuvärde beräknas med hjälp av uttrycket

$$N_S = \frac{e^{-r(T_1-T_2)}}{(T_o^n - T_2^n)\, r^n} \left[n \,.\, e^{rT_1} (H + N_{So}) (L_n (rT_2) - L_n (rT_1)) \right.$$
$$\left. + r^n \,.\, (T_o^n - T_1^n)(N_{So} + D) \right]$$

Både N_{So} och N_S förutsätter att man avser att säkerställa åtgärdens funktion för all framtid. Detta kan vara en rimlig och praktisk förutsättning vid jämförelser mellan olika åtgärder. Om man anser det vara riktigare att försumma de kostnader som inträffar efter tiden T_3 kan detta beaktas genom att nuvärdet som beräknats för all framtid korrigeras enligt följande uttryck

$$N_{TS} = N_\infty (1 - e^{-rT_3})$$

Optimal dimensionering

För varje typ av energibesparande åtgärd kan man finna en parameter som huvudsakligen avgör åtgärdens effekt ur energisparsynpunkt. Vid tilläggsisolering var denna parameter isoleringstjocklek men vid andra åtgärder kan det vara fråga om luftmängder, verkningsgrader eller apparatstorlekar.

Antages att denna parameter är d kan normalt anläggningskostnaden A tecknas

$$A = A_o + f(d)$$

där A_o är en konstant kostnadsandel och f(d) är en funktion utan konstant term som beskriver kostnadens beroende av d. Normalt gäller med tillräcklig noggrannhet

$$A = A_o + P \,.\, d^\alpha$$

Genom åtgärdens genomförande vinner man årligen följande energimängd

$$M = f\ (d, M_o)$$

d.v.s. den vunna energimängden kan uttryckas som en funktion av begynnelseförutsättning och parameterstorlek.

Detta leder till att optimal lösning ofta kan beräknas explicit genom derivering av dessa samband.

I det speciella fallet, att åtgärden består av tilläggsisolering, kan följande samband uppställas

$$A = A_o + P\ .\ d$$

där A = total anläggningskostnad i kr/m^2

A_o = en konstant del av A kr/m^2

P = en isoleringstjockleksberoende kostnad kr/m^3

d = isoleringsmaterialets tjocklek i meter.

Den optimala isoleringstjockleken d_{opt} i den bemärkelsen att den ger största möjliga förräntning blir härvid

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{A_o\ .\ \lambda}{P\ .\ k_o}}\ m$$

där λ är isoleringsmaterialets värmeisoleringsförmåga i W/m^oC och k_o väggens eller bjälklagets värmegenomgångskoefficient i W/$m^2\ ^oC$.

Den största möjliga förräntning en tilläggsisoleringsåtgärd kan ge bestämmes av uttrycket

$$r - f \leq \frac{k_o\ .\ Q\ .\ E_o}{\left(\sqrt{\frac{P\lambda}{k_o}} + \sqrt{A_o}\right)^2}$$

där Q är ortens värmebehov i tusentals gradtimmar och E_o är dagsvärdet på energipriset i kr/kWh.

Om sambandet $A = A_o + d \cdot P$ och värmeenergivinsten beskriver hela kostnadsbilden kan den tid T efter vilken åtgärden förräntat sig beräknas enligt

$$T = - \frac{1}{r - f} \ell n \left(1 - \frac{(r - f)(A_o + P \cdot d)(1 + \frac{\lambda}{k_o d})}{k_o \cdot Q \cdot E_o}\right) \text{ år}$$

då $d = d_{opt}$ erhålles

$$T_{opt} = - \frac{1}{r - f} \ell n \left(1 - \frac{(r - f)\left(\sqrt{\frac{P\lambda}{k_o}} + \sqrt{A_o}\right)^2}{k_o \cdot Q \cdot E_o}\right) \text{ år}$$

Om man i stället ställer sitt lönsamhetskrav så att man skall isolera intill dess det sista isoleringsskiktet ger förräntningen r - f
erhålls

$$d = \sqrt{\frac{Q \cdot E_o \cdot \lambda \left(1 - e^{-(r-f)}\right)}{P \cdot (r - f)}} - \frac{\lambda}{k_o}$$

TILLÄMPNINGSEXEMPEL

ALLMÄNT

I följande avsnitt genomföres beräkningar enligt den uppställda modellen för tio exempel på energibesparande åtgärder. Exemplen är valda så att de skall täcka flera olika typer av åtgärder. Följande huvudtyper av energibesparande åtgärder i befintliga hus kan uppställas.

A. Ökning av verkningsgraden på uppvärmningsanordningen.

B. Minskning av energiförluster genom husets ytterskal.

C. Minskning av energibehovet genom bättre anpassning av energitillförsel till verkligt behov.

Samtliga huvudtyper finns representerade bland exemplen. Tyngdpunkten ligger på byggnadstekniska åtgärder av typ B.

Exemplen har en stor spännvidd i fråga om åtgärdernas omfattning. Vi har räknat på enkla och föga kostnadskrävande åtgärder såsom justering av värmepanna och tätning av fönster och dörrar men även på mer omfattande åtgärder såsom tilläggsisolering av byggnadens ytterväggar.

Vi har genomgående valt åtgärder som bygger på enkel och idag känd teknik och där resultatet i form av energibesparing följaktligen med relativt god säkerhet kan förutsägas. Undantag från detta utgör exempel 2, där vi räknar på en utvändig tilläggsisolering av en yttervägg med ett förenklat utförande, vilket innebär ett risktagande i fråga om tilläggsisoleringens tekniska livslängd. Vi försöker dock att kalkylera in kostnaden för detta risktagande med hjälp av de uppställda riskformlerna.

Åtgärderna appliceras på endera eller båda av två valda modellhus.

1. Ett flervånings kontorshus med yttermåtten ca 15 x 50 m och med ytterväggar av oisolerat tegel.

2. Ett småhus i ett plan + källare med en yta av ca 125 m^2. Beträffande det tekniska utförandet göres i exemplen varierande antaganden.

Följande exempel kalkyleras

Nr	Atgärd	Huvudkategori av åtgärd	Tillämpning på modellhus	
1	Invändig tilläggsisolering av yttervägg	B	1	
2	Utvändig tilläggsisolering av yttervägg med förenklat utförande.	B	1	
3	Tilläggsisolering av källaryttervägg	B		2
4	Tilläggsisolering av vindsbjälklag	B		2
5	Byte av tvåglasfönster mot treglasfönster	B	1	2
6	Utbyte av värmepanna	A		2
7	Justering av värmepanna	A		2
8	Tätning av fönster och dörrar	B	1	2
9	Installation av värmeväxlare	B	1	
10	Installation av tidstermostat	C	1	2

De klimatiska förutsättningarna varieras i varje exempel så att tre fall studeras, motsvarande orterna

Malmö	med	värmebovet	115.000	grad . h/år
Stockholm	"	"	140.000	- " -
Luleå	"	"	165.000	- " -

Beräkningarna genomföres i princip med en gemensam disposition som ansluter till checklistan enligt avsnitt

En viss likformighet i val av parametrar har eftersträvats mellan de olika exemplen.

Våra tillämpningsexempel är i första hand gjorda för att visa användningen av en uppställd beräkningsmodell och för att därigenom göra det möjligt för en beslutsfattare att i sin situation och med sina förutsättningar göra motsvarande beräkning.

Resultatet av en beräkning av denna typ är starkt beroende av de uppställda förutsättningarna såsom

- energiprisets framtida utveckling
- förräntningskrav
- åtgärdens kostnader. Dessa kan variera inom vida gränser, bl.a. beroende på i vilket sammanhang åtgärden vidtas.

Vi har valt värden på dessa förutsättningar i storleksordningar som vi bedömt vara rimliga. Den stora osäkerheten gör dock att exemplens resultat inte får ses som en generell utvärdering av en viss åtgärds lönsamhet.

Den sammanfattning av samtliga tillämpningsexempel som gjorts i det avslutande stapeldiagrammet ger dock möjligheter till att mycket snabba uppskattningar av vad variationer i olika förutsättningar innebär.

ÅTGÄRD 1

TILLÄGGSISOLERING AV YTTERVÄGG

I. Karakteristik av åtgärden

Invändig tilläggsisolering i kontorshus. Befintlig yttervägg av 1 1/2 sten tegel med puts på båda sidor. Tilläggsisolering med reglar, mineralull, plastfolie och gipsskiva.

II. Modellhus

Kontorshus med yttermått 15 x 50 m med motbyggda gavlar. Kontorsrum längs ytterväggarna med fast rumsindelning. Rummens bredd i medeltal 4,80, två fönster per rum. En radiator under varje fönster med rör från golv. Våningshöjd 3300, rumshöjd 3000.
Bjälklag av träreglar + tung fyllning + golvträ. På undersidan ursprungligen takputs, tidigare utbytt mot 2 gipsskivor.
Yttervägg av 1 1/2 sten massivt tegel med tjockputs på båda sidor.
Fönsterandel i fasaden ca 28 %.
Tvåglas kopplade fönster.

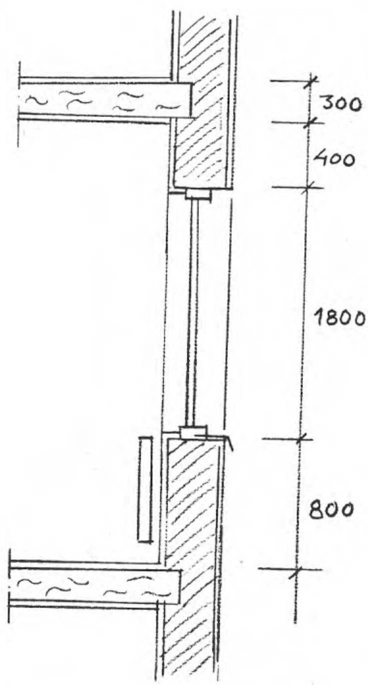


FIG. 18

III. Speciella förutsättningar

Tilläggsisoleringen utföres mot befintliga rumsskiljande väggar - framtida ändringar av rumsindelningen förutses ej.

Isoleringsåtgärder utföres i samband med vissa övriga moderniseringsarbeten som bl.a. innefattar byte till nya radiatorer. Kostnaderna för demontering och uppsättning av radiatorer belastar således ej denna åtgärd.

Åtgärden förutsättes ske sommartid, varför värmesystemet kan stängas av utan speciella värmningsåtgärder.

Arbetena skall drivas i etapper om 50 m fasadlängd, varvid samtliga arbetsrum utrymmes. Hyresförluster för detta skall beaktas.

Framtida hyresförluster på grund av ytminskningen i arbetsrummen skall alternativt medräknas.

IV. Beskrivning av åtgärdens tekniska genomförande

Optimal isoleringstjocklek erhålles enligt (23).

$$\frac{1}{K_o} = 0{,}17 + \frac{0{,}38}{0{,}58} + \frac{0{,}04}{1{,}7}$$

$$K_o = 1{,}17$$

Kostnaden för åtgärden kan uttryckas ungefärligt med sambandet

$$160 + 700 \,.\, d$$

$$d_{opt} = \sqrt{\frac{160 \,.\, 0{,}04}{700 \,.\, 1{,}17}} = 0{,}09 \text{ m}$$

100 mm isoleringstjocklek väljes.

Åtgärden tänkes genomföras i följande steg:

1. Utrymning av rummet, skyddsåtgärder för golv o.d.
2. Demontering av gamla radiatorer, justering av radiatorrör till nytt läge.
3. Borttagande av gamla fönsterbänkar samt golv-, tak- och vägglister.

4. Uppregling med 95 mm reglar.

5. Isolering med 100 mm mineralullsskivor (B-kvalitet väljes, eftersom befintlig yttervägg är tät).

6. Uppsättning av diffusionsspärr av 0,15 mm plastfolie.

7. Uppsättning av 13 mm gipsskiva.

8. Smyginklädnad inkl. tätning genom drevning med mineralull, ny fönsterbänk, nya golv-, tak- och vägglister.

9. Målning av väggyta (målning på väv), lister, fönstersmyg och fönsterbänk.

10. Uppsättning av färdigmålade radiatorer.

11. Städning, iordningställande av rummen.

V. Beräkning av energibesparing

Gamla väggens värmemotstånd:

380 tegel, $= 0{,}58$ W/m . ^{o}C
2 x 20 puts , $= 1{,}74$ W/m . ^{o}C

$$M_1 = 0{,}172 + \frac{0{,}38}{0{,}58} + \frac{0{,}04}{1{,}74} = 0{,}85 \ m^2 \,.\, ^{o}C/W$$

Nya väggens värmemotstånd:

100 mineralull, $= 0{,}04$ W/m . ^{o}C

$$M_2 = 0{,}851 + \frac{0{,}10}{0{,}04} = 3{,}35 \ m^2 \,.\, ^{o}C/W$$

M.h.t. träreglarna och avbrottet för mellanväggarna räknas med ett praktiskt värmemotstånd av $M = 3{,}00$ m^2 ^{o}C/W

i Malmö	ca 115.000	grad . h/år
i Stockholm	ca 140.000	- " -
i Luleå	ca 165.000	- " -

Minskningen i värmeförlust genom ytterväggen är

i Malmö $\frac{115.000}{1000} \left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{3,00}\right) = 97\ kWh/m^2 .$ år

i Stockholm = 118 - " -

i Luleå = 139 - " -

Räkna på en hussida om 50 m längd. Ytterväggsarean

$= (1 - 0,28) . 50 . 3,0 = 108\ m^2.$

Energibesparingen är alltså

i Malmö	K = 108 . 97 = 10480	kWh/hussida . år
i Stockholm	K = 108 . 118 = 12740	- " -
i Luleå	K = 108 . 139 = 15010	- " -

VI. Ekonomiska förutsättningar och bedömningar

Förräntningskravet R_0 sättes alternativt 8 % eller 16 %.

Prisstegringstakten antages vara 4 %.

Effektiva räntan R räknas alltså alternativt 8 - 4 = 4 % eller
16 - 4 = 12 %

Två alternativa energiprisutvecklingar undersökes

dels en utveckling som följer den allmänna prisutvecklingen, d.v.s. F = 0.

dels en prisstegring på energin som överstiger den allmänna med 4 %, d.v.s. F = 4 %.

VII. Kostnads- och intäktskalkyler

Samtliga kostnader räknas på en hussida i en våning.

Kostnader för åtgärdens genomförande

Projekteringskostnad 1.000 kr

Anläggningskostnad

Arbetet antages utföras av ett ombyggnadsföretag som arbetar med egen arbetskraft. Arbets- och materialkostnaderna beräknas separat.

Arbetsåtgången totalt för åtgärderna 1 - 11 enligt ovan exkl. 2 och 10 beräknas till totalt 200 mantimmar motsvarande en arbetskostnad inkl. allmänna omkostnader om 200 x 60 = 12.000 kr.

Våningshalvan antages behöva vara utrymd under 2 veckor.

Materialkostnader (mängder exkl. spill, à-priser med hänsyn till spill och inkl. allmänna omkostnader).

95 mm reglar	555 m	6,02 kr/m	3.341 kr
100 mm min.ull RW 331, kval. B	100 m^2	8,24 kr/m^2	824 "
0,15 mm plastfolie	110 m^2	1,22 kr/m^2	134 "
13 mm gipsskiva	110 m^2	7,83 kr/m^2	861 "
Golvlist	50 m	2,00 kr/m	100 "
Taklist	50 m	3,47 kr/m	174 "
Vägglist	60 m	3,25 kr/m	195 "
Fönsterbänkar	20 st	40 kr/st	800 "
Div. virke för smyginkl.			400 "
Väv + färg till 150 m^2			875 "
			7.700 kr

Anläggningskostnad totalt 12000 + 7700 = 19.700 kr

Hyresbortfall under arbetstiden

Stillestånd i kontorsverksamheten i 2 veckor. Detta antages drabba halva husets bredd, d.v.s. en yta om ca $0{,}85 \,.\, 7{,}5 \,.\, 50 = 320\ m^2$ LY.

Hyresnivå 300 kr/m^2 LY . år ger hyresbortfall

ca $\frac{2}{52} \,.\, 320 \,.\, 300 =$ 3.700 kr

Bidrag till genomförande av åtgärden

förutsättes inte utgå.

Totala kostnader för åtgärdens genomförande

A = 1.000 + 19.700 + 3.700 = 24.400 kr.

Energikostnadsbesparing

Dagens energipris $E_0 = 0{,}07$ kr/kWh
vilket motsvarar en energikostnadsbesparing år 1 (= $K \,.\, E_0$)

i Malmö	av	10480 . 0,07 =	734 kr
i Stockholm	av	12740 . 0,07 =	892 kr
i Luleå	av	15010 . 0,07 =	1.051 kr

En sekundär energikostnadsbesparing på grund av högre yttemperatur på väggens insida är tänkbar men medräknas inte i detta exempel.

Inverkan på övriga kontinuerliga framtidskostnader

Den enda inverkan åtgärden bedömes ha är att den alternativt påverkar intäkterna genom en hyresförlust på grund av den minskade ytan i arbetsrummen.

Ytminskning per hussida = $0{,}11 \,.\, 50 = 5{,}5\ m^2$

Marginell årshyra antages vara 200 kr/m^2 . år

Detta ger en framtida hyresförlust = 200 . 5,5 = 1.100 kr.
C = 0 alt. - 1.100 kr/år

Inverkan på punktvisa framtidskostnader

Vissa skillnader ur underhållssynpunkt uppstår genom ändrade material. Inverkan bedömes dock vara av försumbar storleksordning.

$D = 0$

Riskkostnad för haveri

Inte aktuellt vid denna åtgärd.

Åtgärdens effekt på husets livslängd

Försummas i detta exempel.

VIII. Utvärdering

Nuvärdet N av samtliga kostnader och intäkter under tiden T beskrives av formeln

$$N = -A + \underbrace{\frac{C}{r}(1 - e^{-rT})}_{X} + \underbrace{K \cdot E_0 \cdot \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}}_{Y}$$

$A = 24.400$ kr

$C = 0$ alt. $- 1.100$ kr/år

$r = 0{,}04$ alt. $0{,}12$

$f = 0$ alt. $0{,}04$

$K \cdot E_0 =$ 734 kr i Malmö

892 kr i Stockholm

1.051 kr i Luleå

För $r = f$ antar sista termen värdet $K \cdot E_0 \cdot T$

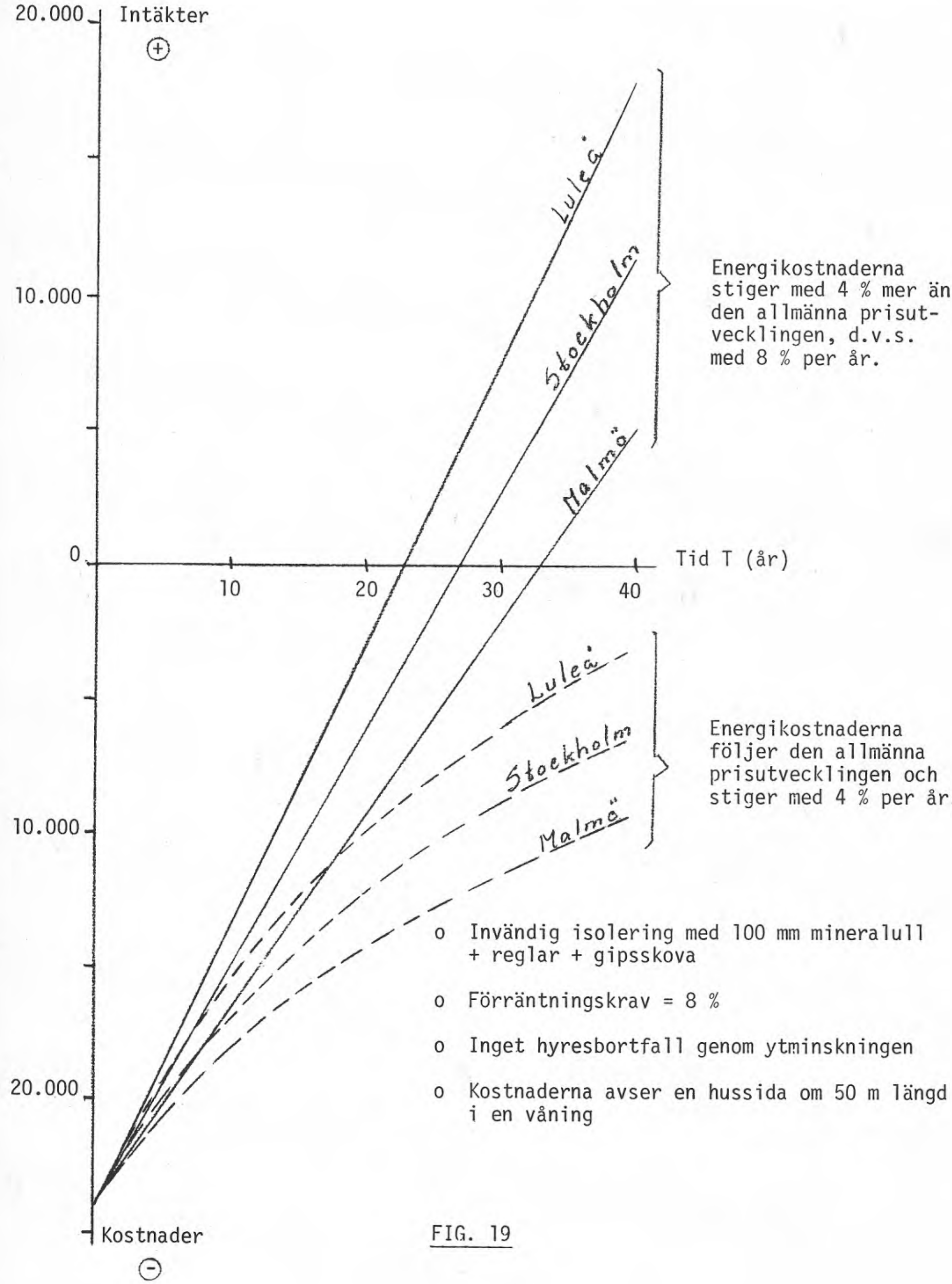
Beräkning av termen X

r \ T	0	5	10	15	20	30	40
0,04	0	-4.985	-9.066	-12.408	-15.143	-19.217	-21.948
0,12	0	-4.136	-6.406	- 7.651	- 8.335	- 8.916	- 9.091

Beräkning av faktorn Y

r	f \ T	0	5	10	15	20	30	40
0,04	0	0	4,53	8,24	11,28	13,77	17,47	19,95
0,04	0,04	0	5,00	10,00	15,00	20,00	30,00	40,00
0,12	0	0	3,76	5,82	6,96	7,58	8,11	8,26
0,12	0,04	0	4,12	6,88	8,74	9,98	11,37	11,99

Tilläggsisolering av yttervägg — Nuvärde av åtgärdens kostnader och intäkter



- o Invändig isolering med 100 mm mineralull + reglar + gipsskova
- o Förräntningskrav = 8 %
- o Inget hyresbortfall genom ytminskningen
- o Kostnaderna avser en hussida om 50 m längd i en våning

FIG. 19

IX. Diskussion av resultatet

Sammanställningen ovan visar bl.a. följande

- o Under förutsättning av

  1 ett förräntningskrav av 8 %, d.v.s. i storleksordningen lika med låneräntan i bank

  2 antagandet att energipriset stiger med 4 % mer än den allmänna prisutvecklingen

  3 att man räknar med en lång återstående livslängd på huset (minst ca 40 år)

  4 att ytminskningen inte ger upphov till framtida hyresbortfall

  visar beräkningen att satsningen på denna energibesparande åtgärd är lönsam i såväl Luleå, Stockholm som Malmö.

  Insatsen är återbetald efter resp. 23, 27 och 33 år.

- o I Malmö är den kalkylerade totala vinsten under 40 år så liten i förhållande till investeringen att lönsamhetsbedömningen där är högst osäker.

- o Det är viktigt att observera att alla villkoren 1 - 4 samtidigt måste vara uppfyllda för att kalkylen skall visa lönsamhet.

- o Ca hälften av kostnaderna för åtgärden består av arbetskostnader. Om motsvarande åtgärd genomförts i en villa, där husägaren satsat eget oavlönat arbete hade lönsamheten blivit gynnsammare. En grov uppfattning därom får man alltså genom att i ovanstående beräkning sätta arbetskostnaderna = 0 men antaga att övriga värden är oförändrade.

  Man finner att även med antagandet att energiprisutvecklingen endast följer den allmänna prisutvecklingen blir åtgärden lönsam på alla tre orterna.

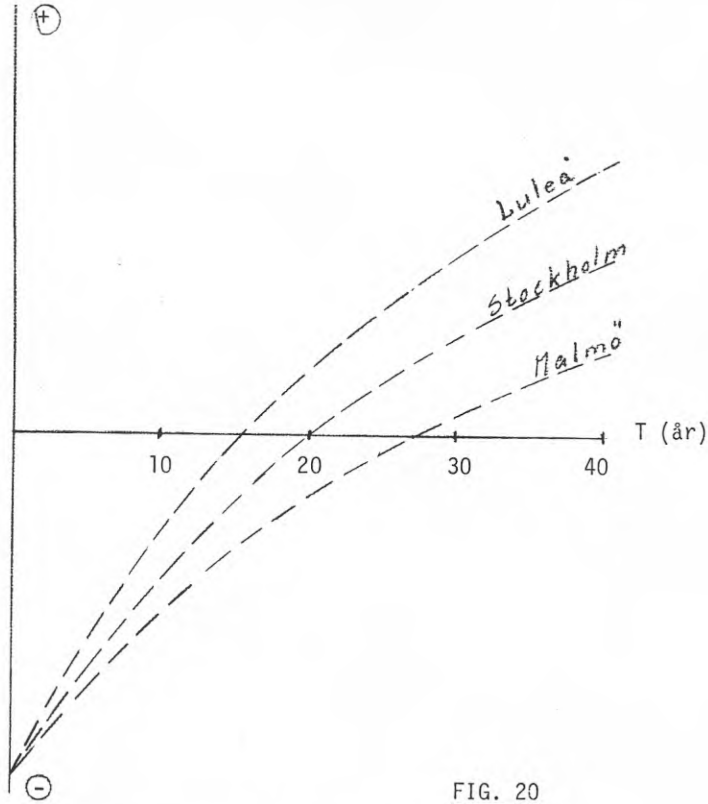


FIG. 20

Insatsen är återbetald efter 15 - 30 år.

- Vi har hittills inte förutsatt att husägaren höjer hyresnivån i sitt kontorshus med anledning av tilläggsisoleringen.

  Motivet för en hyreshöjning skulle vara att kontorslokalernas användningsvärde förbättrats genom t.ex. varmare väggytor, minskat drag e.e.

  I nedanstående tilläggsexempel visas effekten av olika stora hyreshöjningar på ett fall, där grundförutsättningarna är sådana åtgärder utan hyreshöjning, inte är lönsam.

Ort Stockholm

Förräntningskrav 16 % alt. 8 %

Energiprisstegring = allmän prisstegring = 4 %

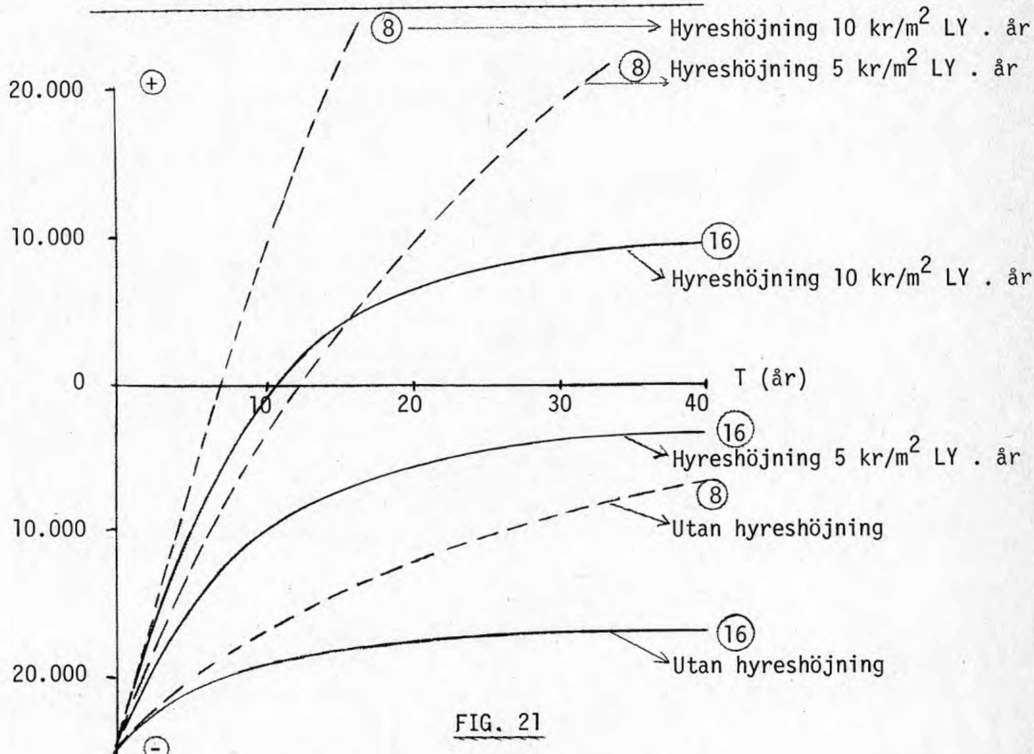


FIG. 21

Som väntat får en eventuell hyreshöjning i den antagna storleksordningen 5 - 10 kr/m^2 LY . år en avgörande inverkan på kalkylen av åtgärdernas lönsamhet.

De ökade hyresintäkterna är ofta väsentligt större än den energikostnadsbesparing man lyckats åstadkomma. Ur husägarens synpunkt är alltså hyresökningen det främsta incitamentet till att genomföra en tilläggsisolering, inte energibesparingen.

Hyresökningen får i detta fall inte ses som en intäkt av en energibesparande åtgärd eller som en subvention till dennas genomförande utan som en intäkt orsakad av att åtgärden dessutom höjt husets användningsvärde.

ATGÄRD 2

UTVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING AV YTTERVÄGG MED FÖRENKLAT UTFÖRANDE

Inledning, principiell frågeställning

Utgå från en äldre byggnad med ytterväggar av putsat tegel som i exempel 1. Utgå vidare från förutsättningen att huset efter en tilläggsisolering skall ha putsade fasader.

En utvändig tilläggsisolering har allmänt fördelar framför en invändig, t.ex. genom att

- den ger en genomgående, jämngod isolering, vilket är fördelaktigt ur klimatsynpunkt
- den medför färre tekniska komplikationer och störningar vid utförandet och ger dessutom ingen ytminskning.

I dag finns knappast någon enkel, billig metod för utvändig högvärdig tilläggsisolering som dessutom erbjuder ett erfarenhetsmässigt säkert underlag för puts.

Man hänvisas alltså ofta till en invändig isolering, som på grund av komplikationerna ofta inte visar tillräcklig lönsamhet.

I det följande prövar vi en metod för utvändig tilläggsisolering. Av de tre kraven

- enkelhet
- lågt pris
- säkerhet

tillgodoses de två första.

Beträffande säkerhetskravet tages en risk som vi försöker kalkylera med hjälp av riskformlerna i vår metod.

Karakteristik av åtgärden

På befintlig putsad tegelvägg fästes 100 mm mineralullsskivor med spikar som drives in i tegelväggen. Spikarna är försedda med brickor som håller kvar mineralullsskivorna. I spikskallarna fästes ett nät, på vilket putsen anbringas.

Modellhus

Samma som i åtgärd 1.

Beräkning av energibesparing

Jämför motsvarande beräkningar under åtgärd 1.

Gamla väggens värmemotstånd = 0,85 m^2 . $^oC/W$
Nya " - " - = 3,35 m^2 . $^oC/W$

Energibesparing

i Malmö	ca 101 kWh/m^2 . år
i Stockholm	ca 123 - " -
i Luleå	ca 145 - " -

Ekonomiska förutsättningar och bedömningar

Förräntningskrav R_o = 8 %. Dagens energipris = 0,07 kr/kWh.
Prisstegringstakten antages vara 4 %, för energin 4 % högre.

Lönsamhetskalkyl utan hänsyn till riskkostnad

Samtliga kostnader räknas på 1 m^2 ytterväggsyta.

Investeringskostnader

Eftersom tekniken för denna typ av tilläggsisolering inte är utarbetad, är en beräkning av kostnaden mycket svår. Vi bedömer att kostnaderna totalt för åtgärden är ca 140 kr/m^2.

Åtgärden förutsättes inte ge upphov till hyresbortfall. Bortsett från riskkostnader som kalkyleras separat nedan, antages åtgärden inte påverka husets framtidskostnader.

Energikostnadsbesparingar

I Malmö	ca 7,10 kr/m^2 . år
I Stockholm	ca 8,60 - " -
I Luleå	ca 10,15 - " -

Utvärdering

Nuvärdet av samtliga kostnader och intäkter under tiden T beskrives av formeln

$$N = - A + K \cdot E_o \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

$A = 140\ kr/m^2$

$K \cdot E_o =$ 7,10 kr/m^2 . år i Malmö

8,60 " " i Stockholm

10,15 " " i Luleå

$r = 0,08 - 0,04 = 0,04$

$f = 0,04$

För R = F antar sista termen värdet $K \cdot E_o \cdot T$, vilket ger

$N = - 140 + K \cdot E_o \cdot T$

Ort / T	0	5	10	15	20	30	40
Malmö	-140,00	-104,50	-69,00	-33,50	+ 2,00	+ 73,00	+144,00
Stockholm	-140,00	- 97,00	-54,00	-11,00	+32,00	+118,00	+204,00
Luleå	-140,00	-89,25	-38,50	+12,25	+63,00	+164,50	+266,00

Kostnader - intäkter utan hänsyn till riskkostnaden redovisas i nedanstående diagram. Man finner att kostnaderna är återbetalda efter resp. 20, 16 och 14 år.

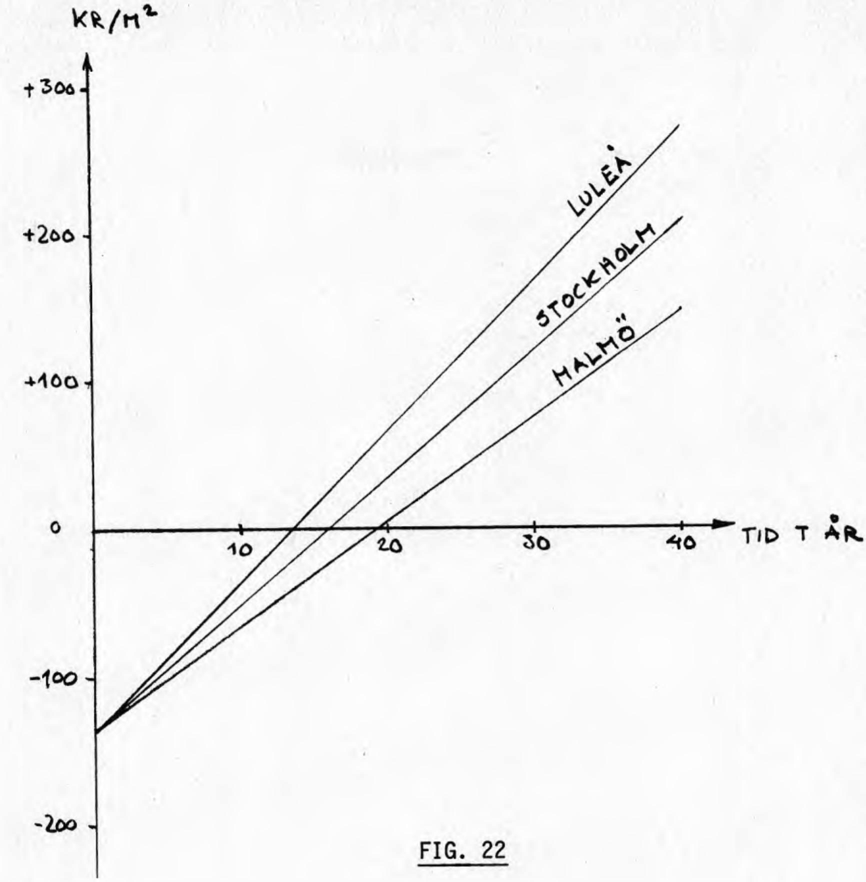


FIG. 22

Lönsamhetskalkyl med hänsyn till riskkostnad

Beräkningen genomföres för orten Stockholm.

När den ogynnsamma händelsen inträffar att den utförda tilläggsisoleringen "kollapsar", uppstår kostnader som blir olika beroende på vilken praktisk lösning på situationen man väljer.

Vi förutsätter här att man avlägsnar tilläggsisoleringen och putsar om fasaden, vilket kostar H kr/m^2. Man uppför ingen ny tilläggsisolering och avstår alltså från försöket att därefter åstadkomma energikostnadsbesparingar.

Kostnaden H antages vara = 90 kr/m^2.

> Anm.: Ett alternativt handlingssätt är givetvis att man uppför en ny tilläggsisolering, som i sin tur betingar en viss kostnad och är behäftad med en viss risk för kollaps.

Beträffande risken för att händelsen skall inträffa göres följande antagande

- En viss andel, p_o, av utförda isoleringsarbeten kommer inte att tekniskt klara sig.
- Dessa tekniska "kollapser" kommer att inträffa inom de allra första åren - vi antager inom 10 år.
- Fördelningen av "kollapser" inom dessa 10 år antags vara jämn.

Sannolikheten för kollaps uttryckes genom formeln 11 på sid.

$$p = p_o \left(\frac{T}{T_o}\right)^n$$

$$T_o = 10 \text{ år}$$

$$n = 1$$

ger $p = \dfrac{p_o \cdot T}{10}$

Nuvärdet av riskkostnaderna intill tiden T blir med

$$n = 1 \quad N_H = - \frac{H \cdot p_o}{T_o \cdot r} (1 - e^{-rT})$$

Detta samband gäller alltså endast för 0 T 10 år

$$r = 0{,}04$$

$$H = 90 \text{ kr/m}^2$$

$$N_H = - \frac{90 \cdot p_o}{10 \cdot 0{,}04} (1 - e^{-0{,}04T}) = - 225\, p_o \cdot (1 - e^{-0{,}04T})$$

$T = T_o = 10$ år ger $N_H = - 74{,}18 - p_o$

Energikostnadsbesparingar reduceras av bortfallet av en viss andel tilläggsisolering.

För tiden $0 \leq T \leq T_o$ (= 10 år) gäller

Efter tiden T har andelen $\frac{p_o \cdot T}{T_o}$ av samtliga kostn. "kollapsat".

Nuvärdet av energikostnadsbesparingen mellan tidpunkt T och T + dt

$$dN = e^{-rT} \cdot dT \cdot K\, E_o \cdot e^{fT} \left(1 - \frac{p_o\, T}{T_o}\right)$$

Totala nuvärdet mellan tiden 0 och T är

$$N = \int_0^T K\, E_o \left(1 - \frac{p_o\, T}{T_o}\right) \cdot e^{-(r-f)T} \cdot dT$$

$$r = f \text{ ger } N = K\, E_o \int_0^T \left(1 - \frac{p_o\, T}{T_o}\right) dT$$

$$N = K \cdot E_o \left(T - \frac{1}{2} \cdot \frac{p \cdot T^2}{T_o}\right) = 8{,}60 \left(T - \frac{p_o\, T^2}{20}\right)$$

$$T = T_o \text{ ger } N_{T_o} = K\, E_o \cdot T_o \left(1 - \frac{p_o}{2}\right) = 8{,}60 \cdot 10 \left(1 - \frac{p_o}{2}\right) = 86 \left(1 - \frac{p_o}{2}\right)$$

För tiden $T_o \leq T$ gäller

Andelen konstruktioner som ger energikostnadsbesparingar = $1 - p_o$.

Totala nuvärdet av energikostnadsbesparingen mellan tidp. T_o och T blir

$$N = K\, E_o\, (1 - p_o)\, (T - T_o)$$

och totala nuvärdet av besparingarna från 0 till T blir

$$N = K\, E_o \quad T_o \left(1 - \frac{p_o}{2}\right) + (1 - p_o)\,(T - T_o) \quad =$$

$$= K\, E_o \quad T_o - \frac{T_o\, p_o}{2} + T - T_o - p_o\, T + p_o\, T_o \quad = K\, E_o \quad T\,(1 - p_o) + \frac{p_o\, T_o}{2}$$

$$= 8{,}60 \quad T\,(1 - p_o) + 5 \cdot p_o$$

Nuvärdet av samtliga kostnader inkl. riskkostnader blir alltså:

För $0 \leq T \leq 10$ år

$$N = -140 + 8{,}60\,(T - \frac{p_o\,T^2}{20}) - 225\,.\,p_o\,(1 - e^{-0{,}04T})$$

För 10 år $\leq T$

$$N = -140 + 8{,}60\,T\,(1 - p_o) + 5\,.\,p_o - 74{,}18\,.\,p_o =$$
$$= -140 + 8{,}60\,T\,(1 - p_o) - 31{,}18\,p_o$$

T (år)	N (kr/m²) $p_o = 0$	$p_o = 0{,}1$	$p_o = 0{,}2$	$p_o = 0{,}3$	$p_o = 0{,}5$	$p_o = 1{,}0$
0	-140,00	-140,00	-140,00	-140,00	-140,00	-140,00
2	-122,80	-124,70	-126,60	-128,51	-132,31	-141,82
5	- 97,00	-102,15	-107,30	-112,46	-122,77	-148,54
10	- 54,00	- 65,72	- 77,44	- 89,15	-112,59	-171,18
15	- 11,00	- 27,02	- 43,04	- 59,05	- 91,09	-171,18
20	+ 32,00	+ 11,68	- 8,64	- 28,95	- 69,59	-171,18
30	+118,00	+ 89,08	+ 60,16	+ 31,25	- 26,59	-171,18
40	+204,00	+166,48	+128,96	+ 91,45	+ 16,41	-171,18

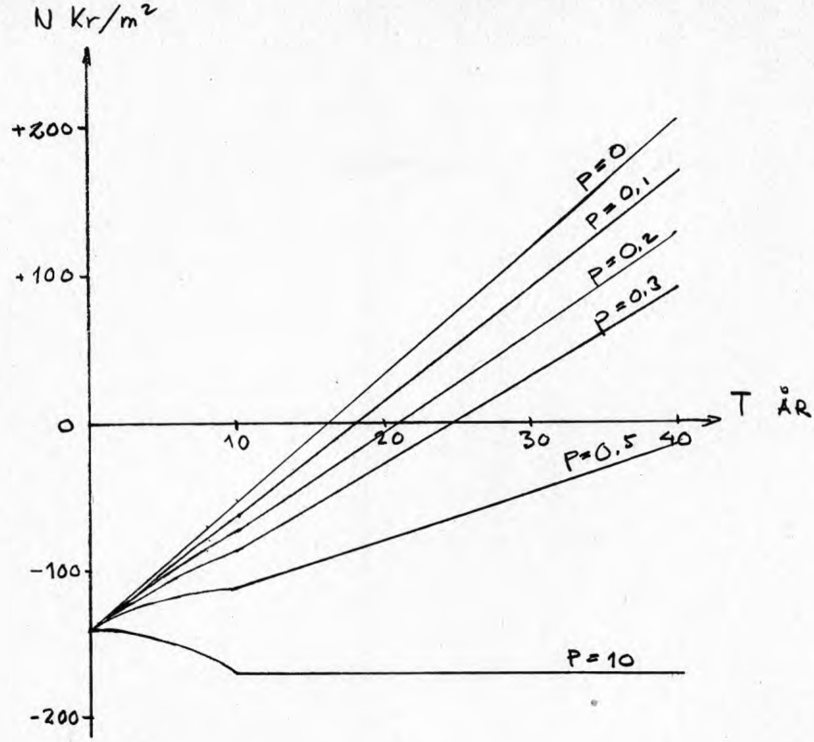


FIG. 23

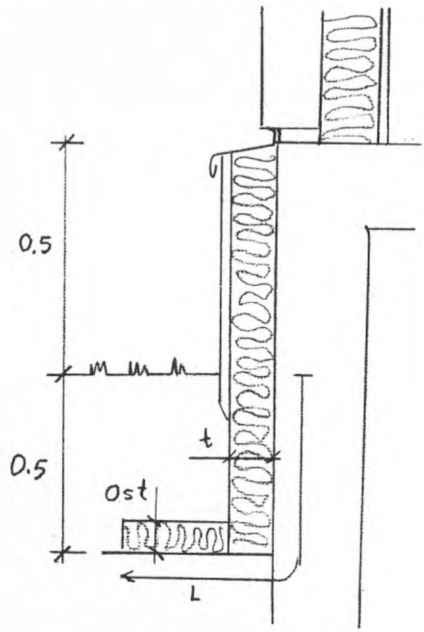
Med de antagna kostnaderna visa diagrammet att man med högst ca 30 % risk för misslyckande i medeltal får åtgärdens kostnader betalda inom relativt rimlig tid (30 % risk ger jämvikt för T$\approx$ 24 år).

Som ovan sagts är de kostnadsantaganden vi i detta fall gjort mycket osäker. Exemplet skall främst ses som en principiellt intressant beräkningsmetodik, där man kalkylerar en medvetet tagen risk.

ÅTGÄRD 3

TILLÄGGSISOLERING AV KÄLLARVÄGG

I. Karakteristik av källarvägg



Utvändig tilläggsisolering av en källarytterväg som sträcker sig o,5 m över mark. Väggen är utförd av betonghålsten och har ett k-värde av 1,0 W/m^2 ^{o}C. Tilläggsisoleringen består av mineralull utanpå vilken nätad puts anbringas ovan mark. I överkant täckes isoleringen med en täckplåt.

FIG. 24

Speciella förutsättningar

Tilläggsisoleringen kan varieras på många olika sätt. En variabel är mängden, en annan är hur långt ner på väggen isoleringen anbringas. Vidare kan studeras hur isoleringens läge och dess tjockleksvariationer påverkar åtgärdens lönsamhet.

Här förutsättes att isoleringen anbringas på väggen ner till 0,5 m från markytan och att den sedan förlägges horisontellt i mark med tjockleken reducerad till hälften.

Beräkning av energibesparing

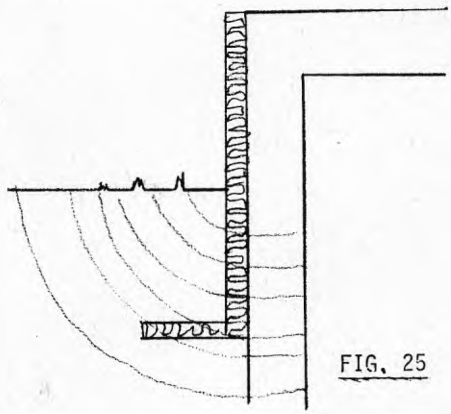


FIG. 25

För väggen ovan mark erhålles

$$K = (1,0 + \frac{t}{0,05}) - 1$$

där t = tilläggsisoleringens tjocklek och 0,05 dess värmeledningsförmåga i W/m °C.

Under mark förutsättes att värmeströmmen löper i cirkelbanor enligt fig. och att inget värmeutbyte sker radiellt. Värmeledningsförmågan för mark = = 1,5 W/m °C.

Beräkningen av värmetransporten utföres nu för isoleringsmängden V = 0,05, 0,1, 0,15 och 0,2 M^3 isolering per löpmeter vägg.

För varje V-värde varieras L vilket leder till att även t ändras och den totala värmetransporten ned t.o.m. 2,0 meter under mark beräknas.

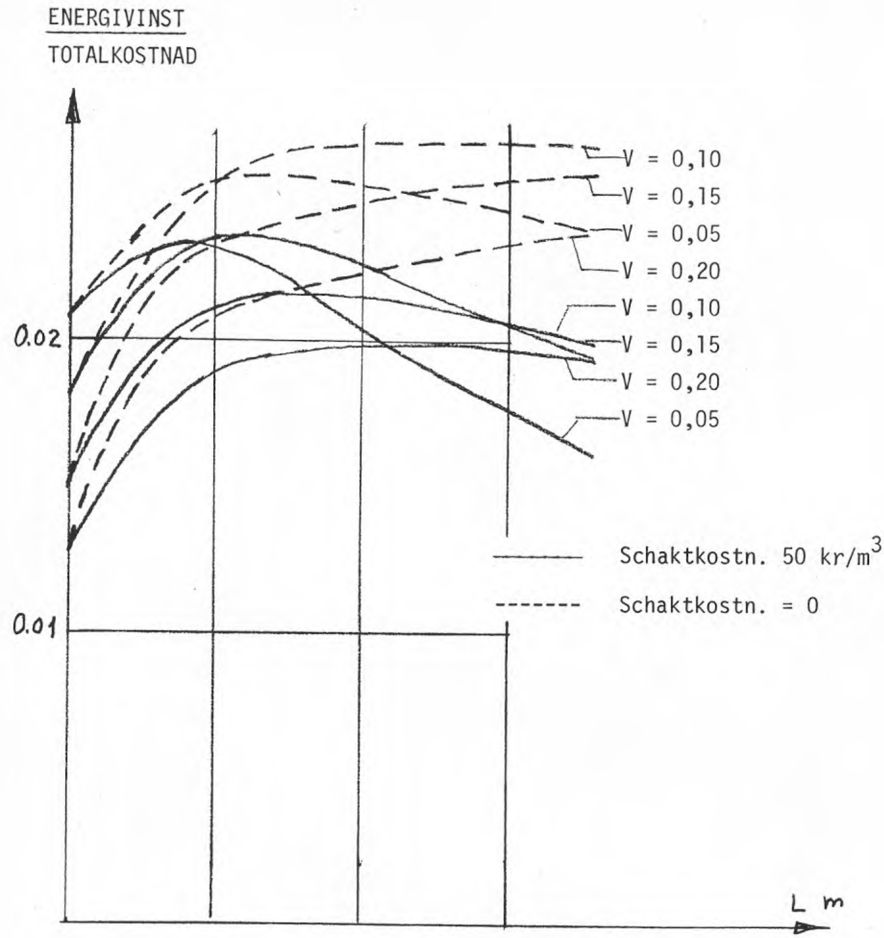


FIG. 26

Med kostnadsförutsättningar enligt nedan redovisas resultatet i diagram som kvoten mellan energivinst och totalkostnad.

Diagrammet visar att om schaktkostnaden beaktas ligger isoleringsoptimum något under 0,1 m^3/m vägg och att det ej är lönsamt att lägga isolering i marken.

Om man helt negligerar schaktkostnaden påverkas ej isoleringsoptimum nämnvärt. Däremot blir det något lönsammare att placera en del av isoleringen i mark än att placera allt på väggen.

Med tanke på att markens isoleringsförmåga således betyder ganska litet är det meningsfullt att undersöka värdet på optimal isoleringstjocklek närmare.

Som framgår av nedan kan kostnaden för isoleringsåtgärden tecknas

$$K = 70 + 550 \cdot t \quad kr/m$$

Enligt (23) erhålles härvid

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{70 \cdot 0,05}{550 \cdot 1,0}} = 0,080 \text{ m}$$

vilket stämmer väl med kurvskaran enligt diagram.

Om schaktkostnaden 10 kr/m negligeras erhålles

$$t_{opt} = \sqrt{\frac{60 \cdot 0,05}{550 \cdot 1,0}} = 0,074 \text{ m}$$

Optimal isoleringsmängd kan erhållas enligt (34). $E_o = 0,07$ kr/kWh

$Q = 140 \cdot 10^3$ ^oC . h/år och $n_k = 10$.

$$V_{opt} = \frac{0,05 \cdot 1,5}{2 \pi \cdot \frac{1}{2}} \left(\sqrt{\frac{140 \cdot 0,07 \cdot 10}{550 \cdot 0,05} + 0,25} - 0,5 \right) = 0,035 \text{ m}^3/\text{m}$$

och tillhörande energiförlust genom väggen under mark blir enligt (35)

$$K = \frac{140 \cdot 1,5}{\pi \cdot \frac{1}{2}} \left(\frac{1}{2} + \ln \frac{1,0 + \frac{\pi \cdot 2}{2 \cdot 1,5}}{0,5 + \sqrt{\frac{140 \cdot 0,07 \cdot 10}{550 \cdot 0,05} + 0,25}} \right) = 98 \text{ kWh/år}$$

att jämföras med

$$(0,17 + 0,68) \cdot 140 = 119 \text{ kWh/år}$$

Nu förutsättes dock vid optimal isolering att isoleringen dras ned

$$L_o = \frac{2 \cdot 0,035 \cdot 1,5}{0,05 \cdot \frac{\pi}{2}} = 1,15 \text{ m under mark vilket påverkar}$$

schaktkostnaderna så väsentligt att förutsättningarna ej längre gäller.

Åtgärden att isolera med 8 cm mineralull ned till 0,5 m under mark torde därför vara den bästa som står till buds och studeras därför närmare.

Beräkning av energibesparing

Värmemotståndet för väggen x m under markytan beräknas enligt

$$m = 1{,}0 + \frac{\pi \cdot x}{2 \cdot 1{,}5} = 1{,}0 + 1{,}05\ x$$

och den totala värmetransporten för väggen under mark ned till 2 m djup blir

$$K = Q \int_0^2 \frac{dx}{1{,}0 + 1{,}05\ x} = \frac{Q}{1{,}05} \int_0^2 n\ (1 + 1{,}05\ x) = 1{,}08\ Q\ \text{kWh}$$

På de 0,5 m över mark tillkommer

$$K_{TOT} = 1{,}58\ Q\ \text{kWh}$$

Efter tilläggsisoleringen blir den totala värmeströmmen

$$K_{TOT} = 0{,}5 \cdot \frac{Q}{1{,}0 + \frac{0{,}08}{0{,}05}} + Q \int_0^{0{,}5} \ell n\ (2{,}6 + 1{,}05\ x)\ dx$$

$$+ Q \int_{0{,}5}^{2} \ell n\ (1{,}0 + 1{,}05\ x)\ dx = 0{,}19 + 0{,}17 + 0{,}68 = 1{,}04\ .\ Q\ \text{kWh}$$

Minskningen i värmeflödet i en löpmeter vägg blir härmed

$$K = 140000\ (1{,}58 - 1{,}04) \cdot \frac{1}{1000} = 76\ \text{kWh/m år}$$

Ekonomiska förutsättningar och bedömningar

Kostnaderna för åtgärden i fråga förutsättes vara följande:

Schakt:	50 kr/m^2 d.v.s. 25t + 25L - 5 kr/m vägg. Alt. sättes schaktkostnaden 0 för att visa hur en egen arbetsinsats påverkar resultatet.
Mineralull:	550 . V + 15 kr/m vägg V är isoleringsmängden i m^3/m vägg.
Puts + beslag:	40 + 50 T kr/m vägg

Ekonomiska förutsättningar och bedömningar

Den högsta förräntning åtgärden kan ge bestämmes av villkoret

$$r - f < \frac{K_0 \cdot Q \cdot E}{\left(\sqrt{\frac{P\lambda}{K_0}} + \sqrt{A}\right)^2} = \frac{1{,}0 \cdot 140 \cdot E}{\left(\sqrt{\frac{550 \cdot 0{,}05}{1{,}0}} + \sqrt{70}\right)^2} = 0{,}75 \cdot E_0$$

d.v.s. förräntning minskad med årlig energikostnadsökning blir högst = $= 0{,}75 \cdot E_0$ där E_0 är dagens energipris uttryckt i kr/kWh.

Som effektiv ränta väljes 8 % och energin antages stiga med 4 % mer än allmän prisutveckling.

$$r - f = 0{,}04$$

Detta förräntningskrav medger att isoleringstjockleken skulle kunna ökas något som framgår av (27) om E_0 sättes = 0,07 kr/kWh

$$d_1 = \frac{140 \cdot 0{,}07 \cdot 0{,}05}{550 \cdot 0{,}04} - \frac{0{,}05}{1{,}0}$$

$$d_1 = 0{,}10 \text{ m}$$

Vid det mycket måttliga förräntningskrav som här gäller torde det dock vara av större intresse att få besked om när optimal isoleringsåtgärd har förräntat sig.

Enligt (22) erhålles

$$T = -\frac{1}{0{,}04} \ell n \left(1 - \frac{0{,}04\,(550 \cdot 0{,}08 + 70)\left(1 + \frac{0{,}05}{1{,}0 \cdot 0{,}08}\right)}{1{,}0 \cdot 140 \cdot 0{,}07}\right)$$

$$T = 35{,}2 \text{ år}$$

Vid tjockleken 0,10 m erhålles

$$T = 36{,}2 \text{ år}$$

Detta visar att optimalpunkterna ligger på en flack kurva och att mindre avvikelser för optimalvärdet har mycket liten betydelse för åtgärdens utfall.

ÅTGÄRD 4

TILLÄGGSISOLERING I VINDSBJÄLKLAG I SMÅHUS

I. Karakteristik av åtgärden

Förstärkning av värmeisoleringen på vindsbjälklaget i småhus.

Huset har sadeltak med takstolar av trä. Underramen är 150 mm hög. Utrymmet mellan dem är isolerat. Tilläggsisolering med högvärdig isolering ovanpå underramen.

II. Modellhus

Enplans småhus med planmåtten 8 x 15 m.
Sadeltak med mått och konstruktion att vindsutrymmet i sin helhet är lätt åtkomligt för tilläggsisolering över hela ytan.

Två utgångslägen studeras.

Alt. 1: 150 mm underram sågspån eller kutterspån mellan reglarna.

Alt. 2: 150 mm underram med mineralull mellan reglarna.

Takstolar med centrumavstånd 1200 mm. 3/4" träpanel under takstolarna.
I utgångsläget förutsättes att den befintliga isoleringen är väl utförd och att praktiskt värmemotstånd kan antas överensstämma med det teoretiskt beräknade. Avslutningsvis göres en överslagsberäkning som visar effekten av imperfektioner i den befintliga isoleringen, som inte rättas till vid tilläggsisoleringen.

Huset antages vara beläget alternativt i Malmö, Stockholm eller Luleå.

III. Speciella förutsättningar

Åtgärden kalkyleras på två sätt.

A. Husägaren låter utföra allt arbete genom entreprenör.

B. Husägaren köper isoleringsmaterialet och utför arbetet själv.
Han kräver inte avkastning på den egna arbetsinsatsen.

IV. Atgärdens genomförande

Tilläggsisoleringen utföres med väl skurna mineralullsskivor med vindskydd, typ Rockwool skiva 231, kvalitet A.

Isoleringstjockleken väljes 150 mm vid båda utgångslägena.

V. Beräkning av energibesparing

Befintligt bjälklags värmemotstånd:

Räkna med ett vägt medeltal mellan snittet med träregel och snittet med isoleringsmaterial.

1. Spånisolering

Isoleringsdelen	$M = 0{,}258 + \frac{0{,}02}{0{,}14} + \frac{0{,}15}{0{,}10}$	$= 1{,}90\ m^2\ .\ {}^oC/W$
Trädelen	$M = 0{,}258 + \frac{0{,}17}{0{,}14}$	$= 1{,}47\ m^2\ .\ {}^oC/W$
Medeltal	$M = 1{,}87\ m^2\ .\ {}^oC/W$	

2. Mineralullsisolering

Isoleringsdelen	$M = 0{,}258 + \frac{0{,}02}{0{,}14} + \frac{0{,}15}{0{,}055}$	$= 3{,}13\ m^2\ .\ {}^oC/W$
Trädelen	$M =$	$= 1{,}47\ m^2\ .\ {}^oC/W$
Medeltal	$M = 2{,}97\ m^2\ .\ {}^oC/W$	

Värmemotstånd efter tilläggsisolering:

1. Spånisolering + 150 mineralull

$$M = 1{,}87 + \frac{0{,}15}{0{,}040} = 5{,}62\ m^2\ .\ {}^oC/W$$

2. Mineralullsisolering + 150 mineralull

$$M = 2{,}97 + \frac{0{,}15}{0{,}040} = 6{,}72\ m^2\ .\ {}^oC/W$$

Värmebehovet säges vara

i Malmö	115.000	grad . h/år
i Stockholm	140.000	- " -
i Luleå	165.000	- " -

Minskningen i värmeförlust genom vindsbjälklaget är

i Malmö	alt. 1	$115.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{1,87} - \frac{1}{5,62}\right)$	= 41,0 kWh/m^2 . år
" "	" 2	$115.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2,97} - \frac{1}{6,72}\right)$	= 21,6 - " -
" Stockholm	" 1	$140.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{1,87} - \frac{1}{5,62}\right)$	= 50,0 - " -
" "	" 2	$140.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2,97} - \frac{1}{6,72}\right)$	= 26,3 - " -
" Luleå	" 1	$165.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{1,87} - \frac{1}{5,62}\right)$	= 58,9 - " -
" "	" 2	$165.000 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2,97} - \frac{1}{6,72}\right)$	= 31,0 - " -

VI. Ekonomiska förutsättningar och bedömningar

Förräntningskrav $R_o = 8$ %

Prisstegringstakten allmänt antages = 4 % per år
- " - för energi " = 8 % per år

Räkna alltså med $R = 8 - 4 = 4$ %
$F = 4$ %

För vissa parametrar göres sedan en tilläggsberäkning med F = 0

VII. Kostnads- och intäktskalkyler

Kostnader för åtgärdens genomförande

Entreprenadfallet:

Total kostnad inkl. allmänna omkostnader 40 kr/m^2, varav materialkostnad inkl. spill 24 kr/m^2.

"Gör det själv"-fallet:

I entreprenadfallets materialkostnad 24 kr/m^2 ingår en del av entreprenörens allmänna omkostnader.
"Gör det själv"-byggaren antages å andra sidan inte kunna utverka samma rabatter.
Materialkostnaden antages därför även i detta fall vara 24 kr/m^2.

Inga bidrag till åtgärden förutsättes.

Energikostnadsbesparing

Dagens energipris $E_o = 0,07$ kr/kWh

Detta ger energikostnadsbesparingen år 1 $(K . E_o)$

i Malmö	alt. 1	$41,0 . 0,07 = 2,87$ kr/m^2
" "	" 2	$21,6 . 0,07 = 1,51$ "
i Stockholm	alt. 1	$50,0 . 0,07 = 3,50$ kr/m^2
" "	" 2	$26,3 . 0,07 = 1,84$ "
i Luleå	alt. 1	$58,9 . 0,07 = 4,12$ kr/m^2
" "	" 2	$31,0 . 0,07 = 2,17$ "

Inverkan på övriga framtidskostnader

Åtgärden har ingen inverkan på andra framtidskostnader än energikostnaden.

VIII. Utvärdering

Nuvärdet N av kostnader och intäkter under tiden T beskrives av formeln

$$N = - A + K . E_o \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

Med de antagna värdena $r = f = 0,04$ blir

$$N = - A + K . E_o . T$$

Att formeln antar detta enkla utseende beror på att förräntningskravet och energiprisstegringen antagits ha samma siffervärde.

Tidpunkten för lönsamhet T_L, d.v.s. den tidpunkt då man genom energikostnadsbesparingar tjänat in investeringen A, får man genom att sätta totala nuvärdet $N = 0$

$$T_L = \frac{A}{K . E_o}$$

Beräkna T_L för entreprenadfallet resp. "gör det själv"-fallet

		A (kr/m^2)	$K \cdot E_0$ (kr/m^2 . år	T_L
Malmö	alt. 1	40 resp. 24	2,87	13,9 resp. 8,4 år
"	" 2	- " -	1,51	26,5 " 15,9 "
Stockholm	alt. 1	- " -	3,50	11,4 " 6,9 "
"	" 2	- " -	1,84	21,7 " 13,0 "
Luleå	alt. 1	- " -	4,12	9,7 " 5,8 "
"	" 2	- " -	2,17	18,4 " 11,1 "

Totala nuvärdet av kostnad och intäkt vid tiden T framgår av diagrammet, dels per m^2 vindsbjälklag, dels för hela huset (120 m^2).

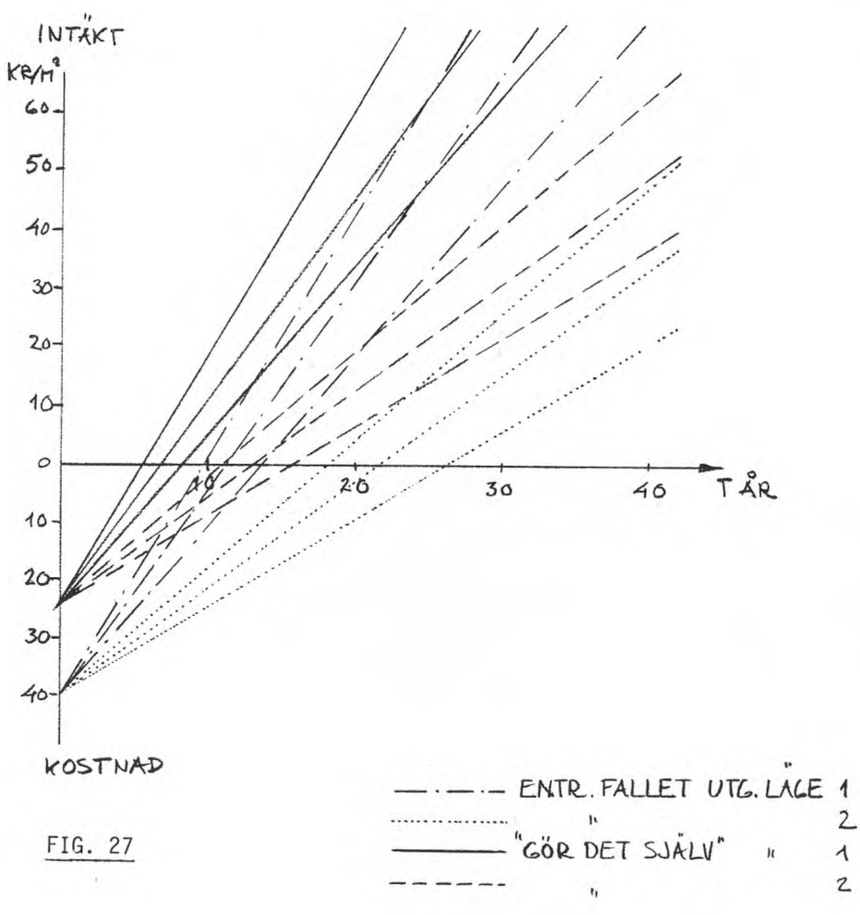


FIG. 27

Tilläggsberäkning med F = 0

I det ovanstående har gjorts det "ur lönsamhetssynpunkt" relativt gynnsamma antagandet att energipriset stiger 4 % mer än den allmänna prisutvecklingen.

Nedan undersökes lönsamheten om man antar att energipriset följer den allmänna prisutvecklingen, d.v.s. F = 0.

Räkna enbart på fallet att huset är beläget i Stockholm.

$$N = - A + K \, . \, E_0 \, \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

$A = 40 \text{ kr/m}^2$ alt. 24 kr/m^2

$K \, . \, E_0 = 3{,}50 \text{ kr/m}^2$ alt. $1{,}84 \text{ kr/m}^2$

$r = 0{,}04$

$f = 0$

$$N = - A + K \, . \, E_0 \, \frac{1 - e^{-0{,}04T}}{0{,}04}$$

Energikostnadsbesparingen

Tiden T (år)	0	5	10	15	20	30	40
Entr.-fallet, utg.läge 1	0	15,86	28,85	39,48	48,18	61,15	69,83
- " - , " " 2	0	8,34	15,17	20,76	25,33	32,15	36,71

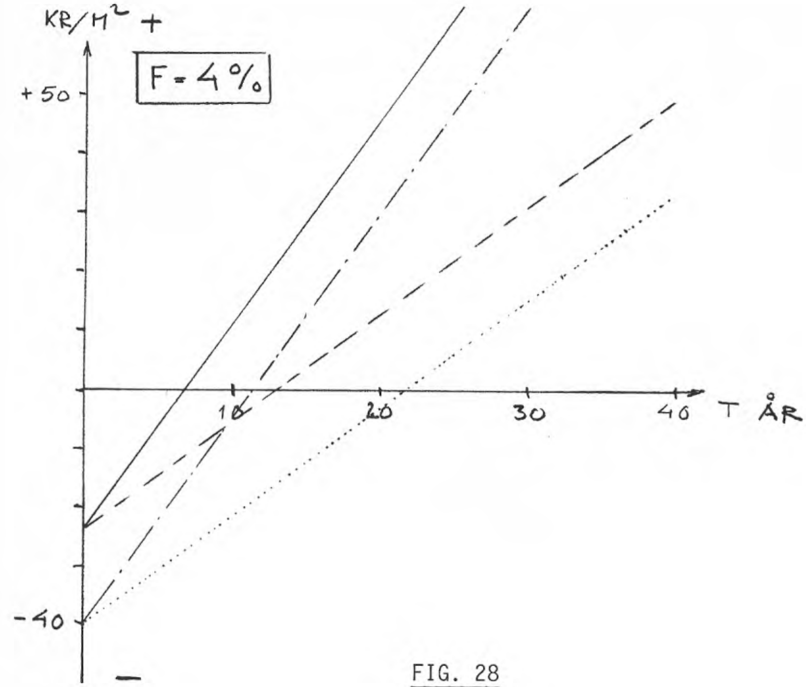


FIG. 28

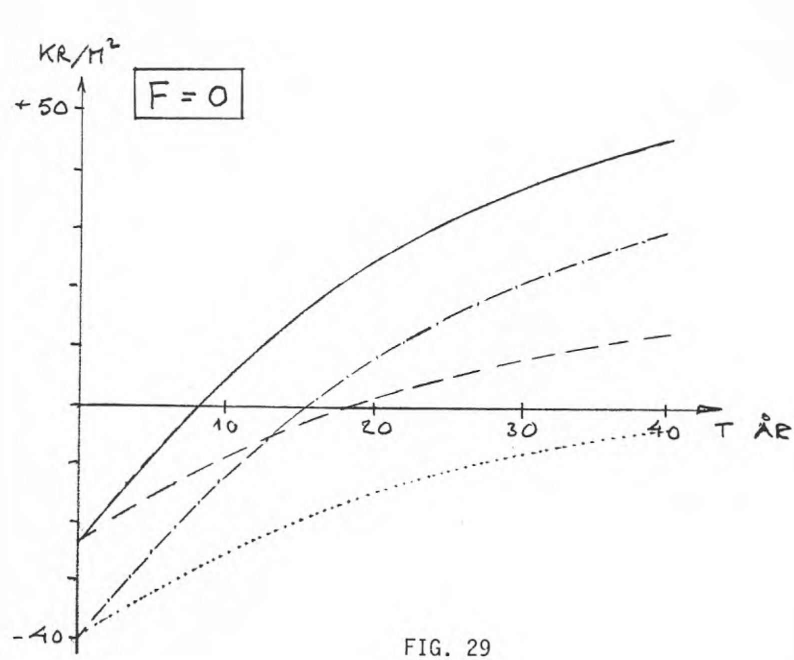


FIG. 29

Med antagandet att energipriset foljer den allmänna prisutvecklingen är en tilläggsisolering fortfarande lönsam i Stockholm om utgångsläget är att huset har en lågvärdig isolering.

För ett hus som redan har en isolering av 15 cm mineralull fordras att husägaren själv utför arbetet och inte kräver avkastning på arbetsinsatsen. Åtgärdens kostnad är ändå inte intjänad förrän efter ca 20 år.

IX. Inverkan av bristfälligt utförd isolering

De isoleringsvärden som använts i ovanstående beräkningar förutsätter en väl utförd isolering, både i utgångsläget och efter utförd tilläggsisolering. Erfarenheten säger att brister i befintlig isolering på vindsbjälklag är vanliga. De kan t.ex. bestå i att isoleringsmaterialet inte täcker hela bjälklaget eller att uteluften kan nå en luftspalt innanför isoleringsmaterialet.

En uppfattning om storleksordningen av inverkan av sådana brister visas i ett starkt förenklat exempel.

Beräkningsmodell

Betongbjälklag med uppstolpat trätak. Isolering på betongplattan med 150 mineralull. Avständ mellan träreglar/stolprader = 1200. Isoleringen antages utförd så att inte hela ytan täcks utan att en luftspalt på 50 mm finns invid varjeträregel.

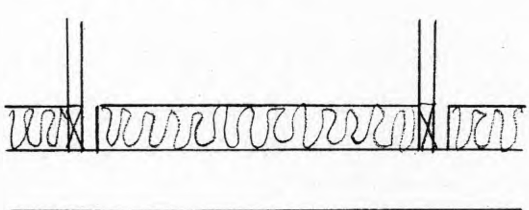


FIG. 30

Tilläggsisolering utföres med ytterligare 150 mm mineralull.

Isoleringsvärden i befintlig konstruktion

Teoretiskt k-värde utan hänsyn till luftspalten = 0,30 W/m^2 . ^{o}C.

En direkt proportionering mellan delarna med och utan isolering ger k_{medel} = 0,40 W/m^2 . ^{o}C.

Med tanke på den stora skillnaden i k-värde mellan delarna ligger verkligt resulterande k-värde högre, sannolikt i storleksordningen 0,45 W/m^2 . ^{o}C.

Isoleringsvärden efter tilläggsisolering

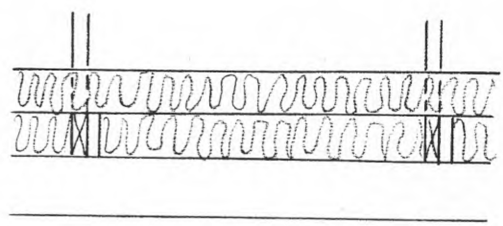


FIG. 31

Teoretiskt k-värde utan hänsyn till luftspalten = 0,17 W/m^2 . ^{o}C.

Luftspaltens inverkan på verkligt k-värde beror på dess kontakt med ute-luften och den värmemängd som den förmår ventilera bort.

Man finner i detta exempel att om en lufthastighet upp till ca 0,5 m/s kan utbildas i luftspalten är det tillräckligt för att hålla betongytans temperatur i spalten på yttertemperaturens nivå, d.v.s. på luftspaltens bredd har bjälklagets isoleringsförmåga inte förbättrats genom åtgärden.

En proportionering mellan delarna med och utan isolering liksom tidigare ger k_{medel} = 0,28 W/m^2 . ^{o}C. Med tanke på den mycket stora differensen i k-värde mellan delarna ligger verkligt resulterande k-värde väsentligt högre, sannolikt i storleksordningen 0,35 W/m^2 . ^{o}C.

Sammanfattning

Exemplet visar alltså ett bjälklag som teoretiskt har k-värdet 0,30 men som genom slarvigt utförande fått luftspringor som ökar k-värdet till ca 0,45. Om man utför tilläggsisoleringen utan att rätta till bristerna når man ett verkligt k-värde efter åtgärden på ca 0,35 i stället för avsedda och möjliga 0,17.

Vid tilläggsisolering av denna typ är det således mycket viktigt att fylla sådana befintliga luftspalter som kan leda in ytterluften innanför den högvärdiga isoleringen.

Att rätta till bristen ger i exemplet större utbyte än själva tilläggsisoleringen.

Att utföra tilläggsisoleringen utan att dessförinnan rätta till bristen innebär dessutom att effekten av tilläggsisoleringen minskar.

X. Optimal isoleringstjocklek

I ovanstående exempel har tilläggsisoleringens tjocklek genomgående satts till 150 mm utan närmare analys av vilken tjocklek som är ekonomiskt optimal.

Som framgår av sid. 23-29 kan optimal isoleringstjocklek definieras på två olika sätt.

1. Den isoleringstjocklek som ger maximal förräntning på satsat kapital - - d'_{opt}.
2. Den isoleringstjocklek, där den marginella förräntningen är lika med det ställda förräntningskravet - d''_{opt}.

d'_{opt} är oberoende av orten och är

$$= \sqrt{\frac{A \cdot \lambda}{P \cdot k_o}},$$

där A och P beskriver åtgärdens kostnad enligt

$K = A + P \cdot d \quad (kr/m^2)$

λ = isoleringsmaterialets värmemotstånd $(W/m \cdot {}^oC)$

k_o = ursprungliga konstruktionens värmeledningstal $(W/m^2 \cdot {}^oC)$

I vårt exempel är

$A = 23\ kr/m^2$ i entreprenadfallet

7 " i "gör det själv"-fallet

$P = 113\ kr/m^3$

$\lambda = 0{,}04\ W/m \cdot {}^oC$

k_o = 0,53 W/m^2 . ^oC vid utgångsläget sågspånsisolering

0,34 " " " - " - mineralullsisolering

För de olika kombinationerna blir optimal isoleringstjocklek d'_{opt} följande

	Utgångsläge sågspånsisol.	Utgångsläge mineralullsisol.
Entreprenad	12,4 cm	15,5 cm
"Gör det själv"	6,8 cm	8,5 cm

Den del av åtgärdens kostnad som är oberoende av isoleringstjockleken d är större i entreprenadfallet, vilket förskjuter optimal tjocklek uppåt.

Som synes är vidare optimal isoleringstjocklek, definierad på detta sätt, mindre ju sämre isoleringsvärde utgångskonstruktionen har. Lönsamheten av att genomföra en tilläggsisoleringsåtgärd är dock som tidigare framgått högre ju sämre utgångsisoleringen är.

En beräkning av optimala isoleringstjockleken d''_{opt} genomföres för ett fall

- Ort Stockholm, Q = 140.000 grad . h/år
- Utgångsläge mineralullsisolering, k_o = 0,34 W/m^2 . ^oC
- Entreprenadfallet A = 23 kr/m^2, P = 113 kr/m^3

Sambandet mellan isoleringstjockleken d och r - f, där r = nettoförräntningen (utöver allmänna prisstegringen) och f = energiprisets årliga ökning utöver allmänna prisstegringen, visas i diagram 32.

Förräntningen för tidsrymden T = ∞ beräknas enligt sambandet

$$r - f = \frac{k_o \cdot Q \cdot E_o}{(P \cdot d + A)\left(1 + \frac{\lambda}{k_o \cdot d}\right)}$$

För övriga värden på T gäller sambandet

$$\frac{r - f}{1 - e^{-(r-f)T}} = \frac{k_o \cdot Q \cdot E_o}{(P \cdot d + A)\left(1 + \frac{\lambda}{k_o \cdot d}\right)}$$

Motsvarande värden på r - f och d löses genom interpolation i tabellen

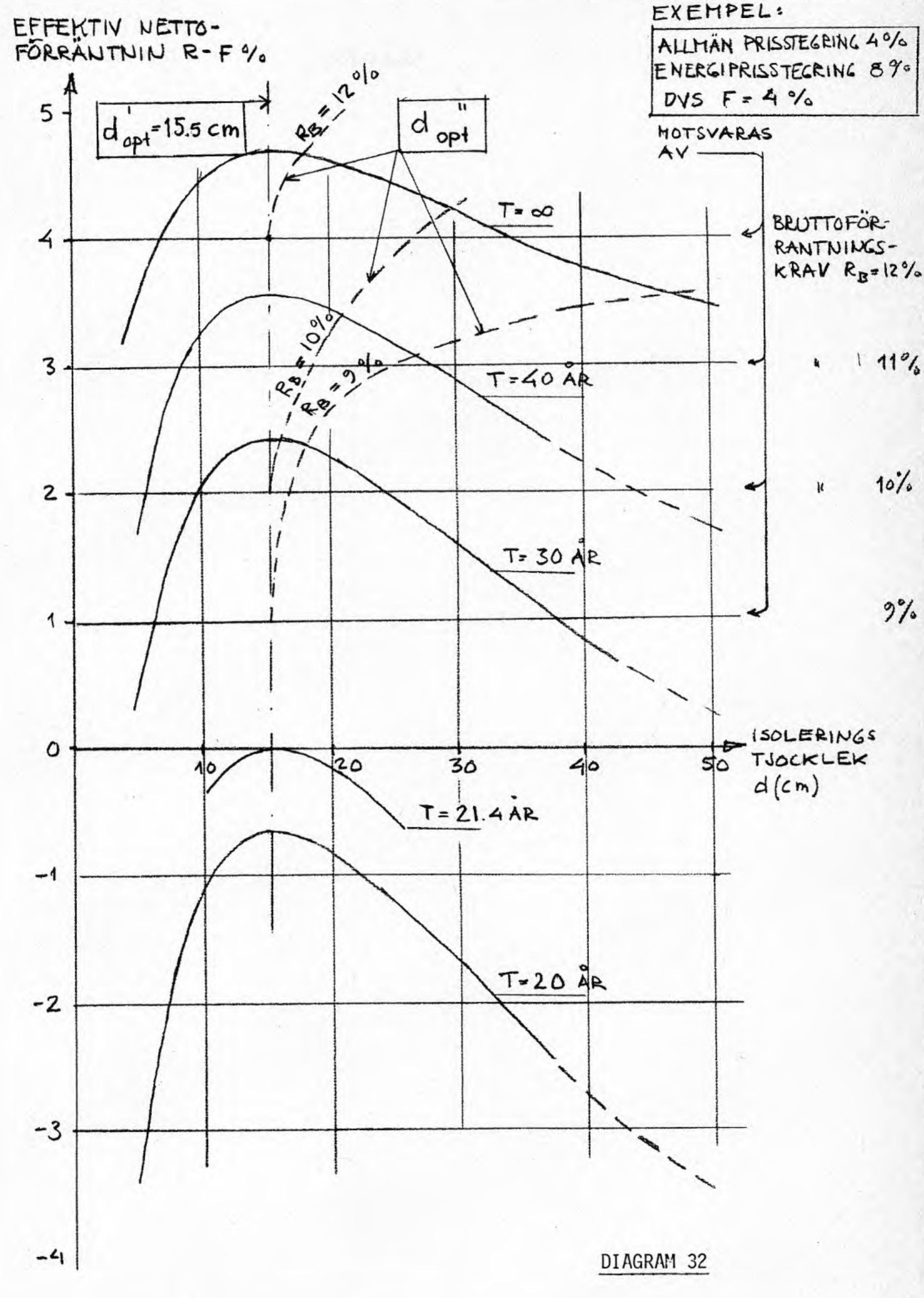

EXEMPEL:
ALLMÄN PRISSTEGRING 4%
ENERGIPRISSTEGRING 8%
DVS F = 4%
MOTSVARAS AV
BRUTTOFÖRRÄNTNINGSKRAV R_B=12%
" " 11%
" 10%
9%
EFFEKTIV NETTOFÖRRÄNTNIN R-F %
d'_{opt}=15.5 cm
d''_{opt}
R_B=12%
R_B=10%
R_B=9%
T=∞
T=40 ÅR
T=30 ÅR
T=21.4 ÅR
T=20 ÅR
ISOLERINGS TJOCKLEK d(cm)
5
4
3
2
1
0
-1
-2
-3
-4
10
20
30
40
50

DIAGRAM 32

Den isoleringstjocklek som ger maximal förräntning, d_{opt}, blir 15,5 cm.

Förräntningsnivån växer med den tid T som man i detta sammanhang vill beakta.

Man finner t.ex. att vid

- bruttoförräntningskrav 8 %
- allmän prisstegring 4 %   R = 8 % - 4 % = 4 %
- energiprisets stegring 8 %, d.v.s. F = 8 % - 4 % = 4 %

vilket motsvaras av linjen R - F = 0,
det krävs en tid om 21,4 år för att förräntningskravet nätt och jämt skall vara uppfyllt. Detta värde på T återfinnes i diagrammet som den punkt där den undre kurvan skär tidsaxeln.

ÅTGÄRD 5

BYTE AV TVÅGLASFÖNSTER MOT TREGLASFÖNSTER

I. Karakteristik och åtgärder

Tvåglasfönster utbytes mot treglasfönster i en äldre kontorsbyggnad.

Flera lösningar står till buds. Om både karmar och bågar är i gott skick är det ofta fördelaktigt att fräsa upp större spår i bågarna och byta ut ett av glasen mot ett isolerglas. En liknande lösning består i att förse befintliga bågar med ytterligare en båge företrädesvis i metall eller plast.

En annan möjlighet är att byta ut bågarna och ett ytterligare alternativ består i att ett helt nytt fönster fästes i befintlig karm.

I detta fall förutsättes dock att hela fönstret bytes ut, i huvudsak på grund av att det är i relativt dåligt skick men även på grund av att möjligheterna till tätning är sämre vid gamla fönster.

Läget antas vidare vara sådant att de befintliga fönstren efter en ommålning och omkittning skulle kunna fungera i ytterligare 15 år.

Konsekvenserna av det aktuella fönsterbytet påverkas även av om det är en fristående åtgärd eller sker i samband med annan ombyggnad. Här behandlas dels fallet fristående åtgärd och dels fönsterbyte i samband med tilläggsisolering.

Vidare förutsättes stor livslängd för byggnaden samt att dagens teknik och kostnader tillämpas för de fönster som vid alternativt ommålning av befintliga fönster skall insättas om 15 år.

Teknisk lösning

1. Friläggande av fasad, flyttning av möbler, skyddstäckning m.m.

2. Demontage av befintliga fönster. Befintliga lister lossas försiktigt för att senare återanvändas.

3. Insättning av nytt, grundmålat och glasat fönster.

4. Drevning och kittätning.

5. Plåtarbeten och beslagning.

6. Ilagning av vägg invändigt och utvändigt. Detta medför med säkerhet ett ökat behov av ommålning av väggarna i sin helhet men i detta sammanhang beaktas enbart ommålning av invändiga lister och fönstersmygar.

7. Målning av fönster, inkl. inv. lister, smygar och plåtbeklädnader.

8. Städning och återställande av lokalen.

Beräkning av energibesparing

Tvåglasfönstrens värmemotstånd

$$M_2 = 0{,}36\ m^2 \ .\ {}^oC/W$$

Treglasfönstrets värmemotstånd

$$M_3 = 0{,}57\ m^2 \ .\ {}^oC/W$$

Värmebehovet är

i Malmö	125.000 grad . h/år
i Stockholm	140.000 - " -
i Luleå	165.000 - " -

Minskningen i värmeflödet genom fönstret är

i Malmö	$\frac{125000}{1000}\left(\frac{1}{0{,}36} - \frac{1}{0{,}57}\right) = 128\ kWh/m^2$ år
i Stockholm	143 - " -
i Luleå	169 - " -

För ett fönster med 2,26 m^2 yta sparas årligen

i Malmö	K = 289 kWh
i Stockholm	K = 324 kWh
i Luleå	K = 382 kWh

Ekonomiska förutsättningar

Förräntningskravet R_o sättes 8 %.

Prisstegringstakten I antages vara 4 %.

Energiprisutvecklingen F antages dels följa den allmänna prisutvecklingen och dels stiga med ytterligare 4 %, d.v.s. F = 0 resp. 4 %.

Energipriset förutsättes i dag vara 0,07 kr/kWh.

Kostnads- och intäktskalkyler

Samtliga kostnader hänföres till ett fönster på 1,4 x 1,6 m^2. Till varje fönster hör 18 m^2 rumsyta och 7,9 m^2 fasadyta.

Kostnader för byte till treglasfönster

Anläggningskostnad

Friläggande av fasad	0,5 tim. à 60 kr	=	30 kr
Demontage av bef. fönster	1,0 " " 60 "	=	60 "
Kostnad för nytt treglasfönster inkl. glas		=	850 "
Kostnad för montage	2,5 " " 60 "	=	150 "
Drevning och kittning kring karm	1,0 " " 60 "	=	60 "
Listning och ilagning	1,0 " " 60 "	=	60 "
Plåtarbeten och beslagning		=	100 "
Målningsarbeten		=	200 "
Städning	1,0 " " 40 "	=	40 "
			1.450 kr

Hyresförluster

Stillestånd i en vecka vid hyreskostnaden 300 kr/LY ger

$K = 300 \cdot \frac{1}{52} \cdot 18$ = 100 kr

ΣA = 1.550 kr

Kostnader för målning av befintliga fönster

Friläggande av fasad, täckning	= 30 kr
Skrapning och rengöring	= 100 "
Kittning och drevning kring karm	= 60 "
Komplettering av kitt i bef. fönster	= 60 "
Målning	= 200 "
Städning	= 40 "
	490 kr
Stilleståndskostnad	= 100 "
	ΣA = 590 kr

Energikostnadsbesparing

I Malmö blir besparingen 289 . 0,07 = 20,20 kr/år

I Stockholm och Luleå 22,70 resp. 26,70 kr/år

Anläggningskostnadsskillnaden blir 960 kr. I det fall att man byter till treglasfönster har vi på intäktssidan ovanstående energivinster under 15 år och på kostnadssidan skillnaden mellan att binda 960 kr i dag istället för att göra det om 15 år vilket innebär att man förutsätter en ommålning vart 15:de år. För tiden efter 15 år finner man därför inga kostnadsskillnader och den behöver därför ej beaktas.

Nuvärdet för åtgärden i Malmö blir härmed

$$N = 20{,}20 \cdot \frac{1 - e^{-(r-f)15}}{r - f} - 960 + 960 \cdot e^{-r \cdot 15}$$

Resultatet för olika orter och olika procentsats visas i tabell

	r = 0,04 f = 0	r = 0,04 f = 0,04
Malmö	- 205 kr	- 130 kr
Stockholm	- 177 kr	- 97 kr
Luleå	- 132 kr	- 32 kr

Vid ett dagsenergipris E_0 på 0,07 kWh är det således vid valda räntesatser ej lönsamt att byta till treglasfönster idag.

Om vi istället utgår från att energipris E_0 0,15 kr/kWh erhålles följande tabell.

	r = 0,04 f = 0	r = 0,04 f = 0,04
Malmö	+ 55 kr	+ 216 kr
Stockholm	+ 115 kr	+ 297 kr
Luleå	+ 212 kr	+ 425 kr

Lönsamhet föreligger således i samtliga fall. Interpolation och viss extrapolation mellan tabellvärden kan göras.

Då f = 0 erhåller man för de tre orterna följande villkor för lönsamhet.

Malmö	$E_0 \geqslant 3,3\ r$
Stockholm	$E_0 \geqslant 3,0\ r$
Luleå	$E_0 \geqslant 2,5\ r$

ÅTGÄRD 6

UTBYTE AV VÄRMEPANNA

Karakteristik av åtgärden

En befintlig värmepanna med viss verkningsgrad och av viss ålder bytes ut mot en ny panna med hög verkningsgrad. För båda pannorna känner man till kostnaden av utbyte vid ett planerat gynnsamt tillfälle och de ekonomiska konsekvenserna av ett haveri samt storleken av risken för att ett haveri skall inträffa.

Först studeras vilken utbytesperiod som bör väljas med hänsyn till haveririskens storlek och de ekonomiska konsekvenserna av ett haveri.

Därefter studeras hur lönsamheten av ett byte påverkas av befintlig pannas ålder och verkningsgrad, ränteläge, riskvariation och energikostnadsutveckling.

Bestämning av utbytesperiod för den nya pannan

Förutsättningar

Det förutsättes att man känner till följande om den nya panna som skall väljas vid en nyinstallation.

Installationskostnaden vid en i förväg planerad tidpunkt är 8.000 kr. Det har vidare visat sig att 18 % av pannorna ifråga har kollapsat inom 17 år och att kostnaden härvid totalt uppgått till i genomsnitt 13.000 kr per panna.

Vid vilken ålder bör en sådan panna bytas ut om den effektiva räntan R är 8 % och vad är nuvärdet av kostnaden för framtida pannbyten?

Ekonomiska bedömningar

Endast en enda uppgift om pannans livslängd föreligger. Ur matematisk synpunkt finns därmed oändligt många förutsättningar som uppfyller detta villkor exakt även om man begränsar sig till att sannolikheten för ett haveri kan beskrivas med uttryck av formen

$$P = \left(\frac{T}{T_o}\right)^n$$

För att testa informationsvärdet i en enda uppgift om pannans framtida beteende utan att några ytterligare praktiska och erfarenhetsmässiga aspekter tillföres, beräknas nu enligt (20) optimal utbytescykel och nuvärdet av framtida pannbyten för T_o = 95, 40, 30 och 24 år.

Man finner att

$$\left(\frac{17}{95}\right)^1 = 0{,}179$$

$$\left(\frac{17}{40}\right)^2 = 0{,}181$$

$$\left(\frac{17}{30}\right)^3 = 0{,}182$$

$$\left(\frac{17}{24}\right)^5 = 0{,}178$$

d.v.s. tillhörande n-värden kan med god noggrannhet antas till 1, 2, 3 och 5.

<u>Kalkyl</u>

Nuvärdet för utbyten beräknas enligt (20)

$$N_{So} = \frac{\dfrac{H \cdot n}{T_o^{\,n} \cdot r^n}\left[L_n(0) - L_n(r \cdot T_1)\right] + D_1 \cdot e^{-rT_1}\left[1 - \left(\dfrac{T_1}{T_o}\right)^n\right]}{1 - \dfrac{n}{T_o^{\,n} \cdot r^n}\left[L_n(0) - L_n(r_o\, T_1)\right] - e^{-rT_1}\left[1 - \left(\dfrac{T_1}{T_o}\right)^n\right]}$$

där N_{So} = Nuvärdet vid nyinstallation för framtida utbyten med likadan apparat. (kr)

H = Kostnad för utbyte då apparaten havererar (kr)

T_o = Apparatens livslängd (år)

r = Effektiv ränta i % dividerat med 100.

n = Koefficient som beskriver haveririskens variation enligt $P = \left(\frac{T}{T_o}\right)^n$

$$L_n(\alpha) = e^{-\alpha}\ \alpha^{n-1} + \alpha^{n-2} \cdot (n-1) + \alpha^{n-3}\,(n-1)\,(n-2)$$

$$\ldots\ldots\ \alpha\ \underline{n-1} + \underline{n-1}$$

Värden redovisas i tabell 2.

T_1 = Utbytesintervall (år)

D_n = Kostnad för ett i förväg förberett utbyte (kr)

För $T_o = 95$, $n = 1$, $H = 13.000$ kr, $D_n = 8.000$ kr och $r = 0,08$ beräknas nu olika T_1 värden följande hjälpvärden:

T_1	rT_1	$L_1(0)$	$L_1(r.T_1)$	$\frac{1}{T_o \cdot r}$	$(1 - \frac{T_1}{T_o}) \cdot e^{-rT_1}$
15	1,2	1	0,30119	0,13158	0,25363
20	1,6	1	0,20190		0,15883
25	2,0	1	0,13534		0,09972
40	3,2	1	0,04076		0,02360
60	4,8	1	0,00823		0,00303
95	7,6	1	0,00005		0

För $T_1 = 15$ erhålles

$$N_{15} = \frac{13000 \,.\, 0,13158\ (1 - 0,30119) + 8000 \,.\, 0,25363}{1 - 0,13158\ (1 - 0,30119) - 0,25363} = 4.927 \text{ kr}$$

På samma sätt erhålles

$N_{20} = 3.447$ kr

$N_{25} = 2.895$ kr

$N_{40} = 2.152$ kr

$N_{60} = 1.986$ kr

$N_{95} = 1.969$ kr

Dessa nuvärden sammanställes tillsammans med resultaten vid övriga värden på T_o i nedanstående tabell.

T_1	$T_o = 95$ $n = 1$	$T_o = 40$ $n = 2$	$T_o = 30$ $n = 3$	$T_o = 24$ $n = 5$
15	4927	4335	4072	3820
20	3447	3124	3031	3092
24				2889
25	2895	2703	2761	
30		2512	2985	
35		2473		
40	2152	2511		
60	1986			
95	1969			

Diskussion

Förutsättningen om 95 års livslängd är orealistisk av många skäl varför värdeparet T_1 = 95 år och N_{So} = 1.969 kr ej bör tillmätas särdeles stor vikt. Man finner dock att nuvärdet antar realistiska värden vid realistiska värden på utbytesfrekvensen även med de extrema ingångsvärden som valts.

Övriga resultat pekar mot en utbytesperiod på 25 år och en nuvärdeskostnad för utbytet på ca 2.800 kr.

Med hänsyn till att pannans funktion efter 17 års ålder är okänd samt att allmänt vissa tekniska framsteg kan förväntas inom ett tjugotal år bör man dock välja ett mindre värde på utbytesperioden.

Utbytesperioden väljes därför till 20 år vilket svarar mot en nuvärdeskostnad av ca 3.000 kr.

Resultatet av beräkningarna består i att informationen om att 18 % av pannorna ifråga havererat inom 17 år och att utbytet härvid kostat 5.000 kr extra förvandlats till uppgiften att lämplig utbytesperiod är 20 år och det kostar oss i dag 3.000 kr att täcka in kostnaderna för framtida utbyten.

PANNBYTE

Förutsättningar

Småhus med årligt värmebehov = 30.000 kWh

Befintlig pannas verkningsgrad = η
Ny pannas verkningsgrad = 90 % Konstanta med tiden

Skötselkostnaderna antages vara lika för gammal och ny panna.

Dagens energipris = 0,07 kr/kWh (motsvarande 525 kr/m^2 olja 1)

f = årlig energiprishöjning = 0, 4, 8 %

D_N = installationskostnad för ny panna totalt = 8.000 kr
(Om ingrepp i skorsten krävs blir D_N = 10.000 kr)

H = installationskostnad efter haveri = 13.000 kr

$\frac{H}{D_N}$ = 1.625

T_0 = pannornas livslängd (p = 1 för haveri) = 40 år

T_1 = förutsedd pannbytescykel = 20 år

n = "Haveriexponent" = 2, 10

n = 10 innebär att haveririsken är praktiskt taget försumbar under 20 år.

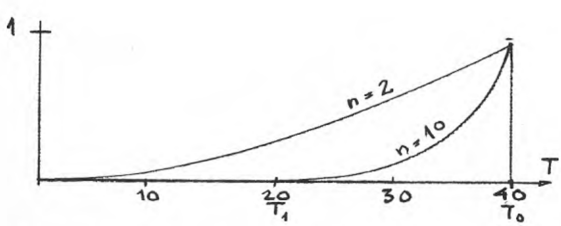


FIG. 33

R = räntan = 8 %

Undersök för varierande f och n lönsamheten av att byta en T_2 år gammal panna ($0 < T_2 < 20$ år) med verkningsgraden η till en ny panna med verkningsgraden 90 %.

Investeringskostnader

Med formlerna (20) och (21) beräknas nuvärdet av samtliga framtida kostnader för nuvarande och alla framtida planerade pannor som funktion av nuvarande pannor ålder T_2. Formeln tar hänsyn till risker vid varje tidpunkt för ett pannhaveri.

N_1 = Nuvärdeskostnad totalt för befintlig panna

N_2 = - " - " " ny panna, installerad i dag.

$\Delta N = N_2 - N_1$

n = 2

T_2	N_2	N_1	ΔN
0	0,39985 . 8000 = 3.100 kr	11.199 kr	8.000 kr
4	0,53338 . 8000 = 4.267 "	11.199 "	6.932 "
8	0,68424 . 8000 = 5.474 "	11.199 "	5.725 "
12	0,86434 . 8000 = 6.915 "	11.199 "	4.284 "
16	1,09215 . 8000 = 8.737 "	11.199 "	2.462 "
20	1,39985 . 8000 = 11.199 "	11.199 "	0

n = 10

T_2	N_2	N_1	ΔN
0	0,25320 . 8000 = 2.026 kr	10.026 kr	8.000 kr
4	0,34869 . 8000 = 3.095 "	10.026 "	6,931 "
8	0,48019 . 8000 = 3.842 "	10.026 "	6.184 "
12	0,66128 . 8000 = 5.290 "	10.026 "	4.736 "
16	0,91055 . 8000 = 7.284 "	10.026 "	2.742 "
20	1,25320 . 8000 = 10.026 "	10.026 "	0

Energikostnadsbesparingar

Årlig energibesparing = 30.000 $(\frac{1}{\eta} - \frac{1}{0,9})$ kWh

Nuvärdet av framtida total energikostnadsbesparing

$$N_E = 30000\ (\frac{1}{\eta} - 1,111)\ .\ 0,07\ \frac{1 - e^{-(r-f)(T_1-T_2)}}{r - f} =$$

$$= 30000\ (\frac{1}{\eta} - 1.111)\ .\ 0,07\ \frac{1 - e^{-(0,08-f)(20-T_2)}}{0,08 - f}$$ jämför formel 3

OBS! Besparingen gäller bara 1:a pannan - alla övriga förutsättes ha den högre verkningsgraden.

f = 0

$$N_E = 26250\ .\ (\frac{1}{\eta} - 1.111)\ (1 - e^{-0,08(20-T_2)})$$

η = 0,5	T_2 = 0	N_E = 18.622 kr
	4	16.846 "
	8	14.399 "
	12	11.030 "
	16	6.390 "
	20	0
η = 0,6	T_2 = 0	N_E = 11.639 kr
	4	10.529 "
	8	8.999 "
	12	6.893 "
	16	3.994 "
	20	0
η = 0,7	T_2 = 0	N_E = 6.651 kr
	4	6.017 "
	8	5.143 "
	12	3.939 "
	16	2.283 "
	20	0

$\eta = 0{,}8$	$T_2 = 0$	$N_E = 2.910$ kr
	4	2.632 "
	8	2.250 "
	12	1.723 "
	16	999 "
	20	0

f = 0,04

$$N_E = 52500 \cdot (\frac{1}{\eta} - 1.111)\,(1 - e^{-0,04(20-T_2)})$$

$\eta = 0{,}5$	$T_2 = 0$	$N_E = 25.700$ kr
	4	22.059 "
	8	17.789 "
	12	12.782 "
	16	6.902 "
	20	0
$\eta = 0{,}6$	$T_2 = 0$	$N_E = 16.062$ kr
	4	13.787 "
	8	11.118 "
	12	7.989 "
	16	4.314 "
	20	0
$\eta = 0{,}7$	$T_2 = 0$	$N_E = 9.179$ kr
	4	7.878 "
	8	6.353 "
	12	4.565 "
	16	2.465 "
	20	0
$\eta = 0{,}8$	$T_2 = 0$	$N_E = 4.016$ kr
	4	3.447 "
	8	2.780 "
	12	1.997 "
	16	1.078 "
	20	0

$\underline{a = 0{,}08}$

(Formlen oanvändbar, antar värdet $\frac{o}{o}$)

Nuvärdet av energikostnadsbesparingen är lika för varje år.

$$n_E = 30000\ (\frac{1}{\eta} - 1.111)\ .\ 0{,}07 = 2100\ (\frac{1}{\eta} - 1.111)\ \text{kr/år}$$

$$N_E = 2100\ (\frac{1}{\eta} - 1.111)\ (20 - T_2)\ \text{kr}$$

N_E (kr)

η \ T_2	0	4	8	12	16	20
0,5	37.333	29.867	22.400	14.933	7.467	0
0,6	23.333	18.667	14.000	9.333	4.667	0
0,7	13.333	10.667	8.000	5.333	2.933	0
0,8	5.833	4.667	3.500	2.333	1.167	0

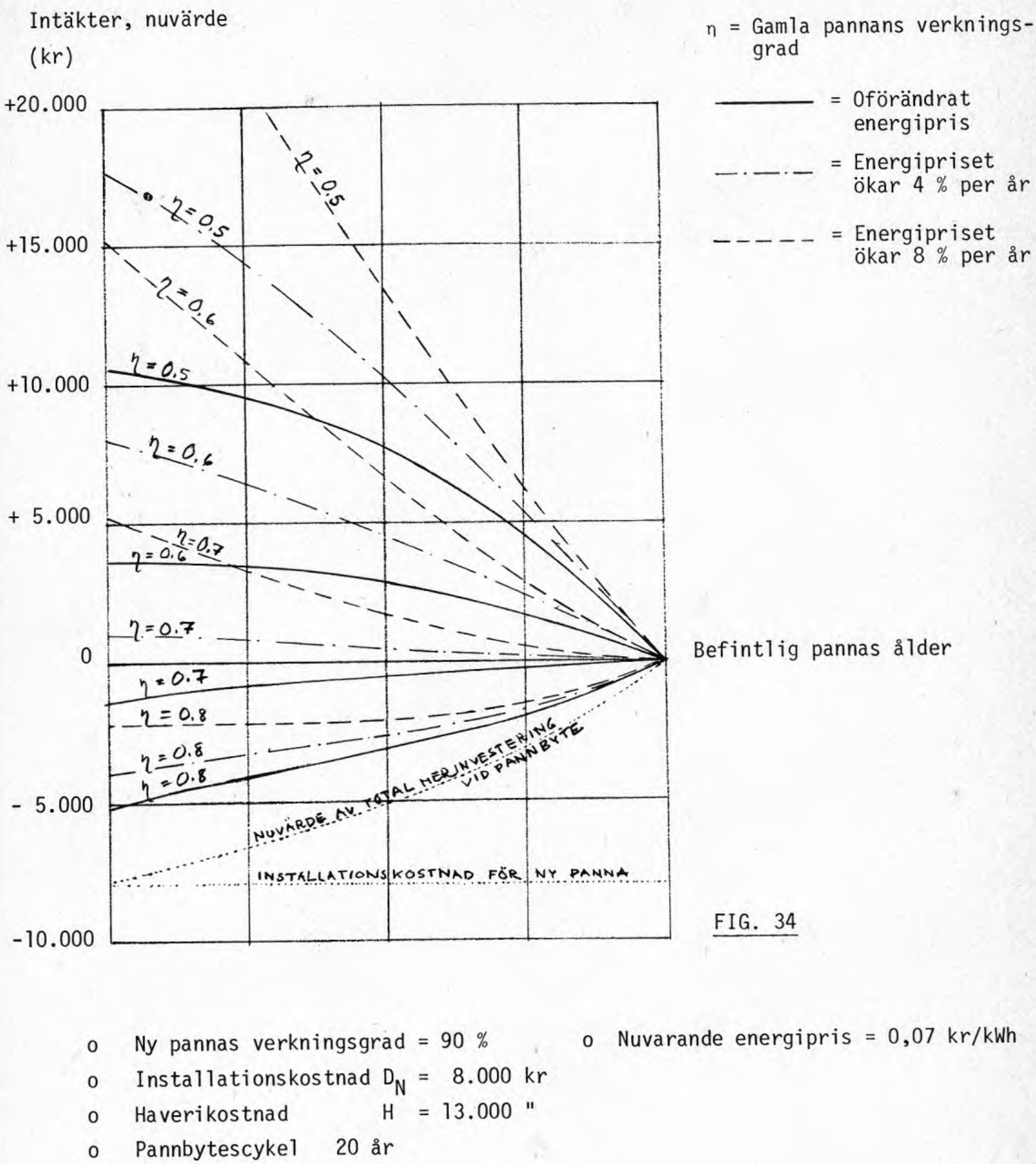


FIG. 34

- o Ny pannas verkningsgrad = 90 %
- o Installationskostnad D_N = 8.000 kr
- o Haverikostnad H = 13.000 "
- o Pannbytescykel 20 år
- o T_0 = 40 år, n = 2
- o Räntan R = 8 %
- o Nuvarande energipris = 0,07 kr/kWh

Vilken verkningsgrad skall gamla pannan högst ha för att det skall löna sig att byta?

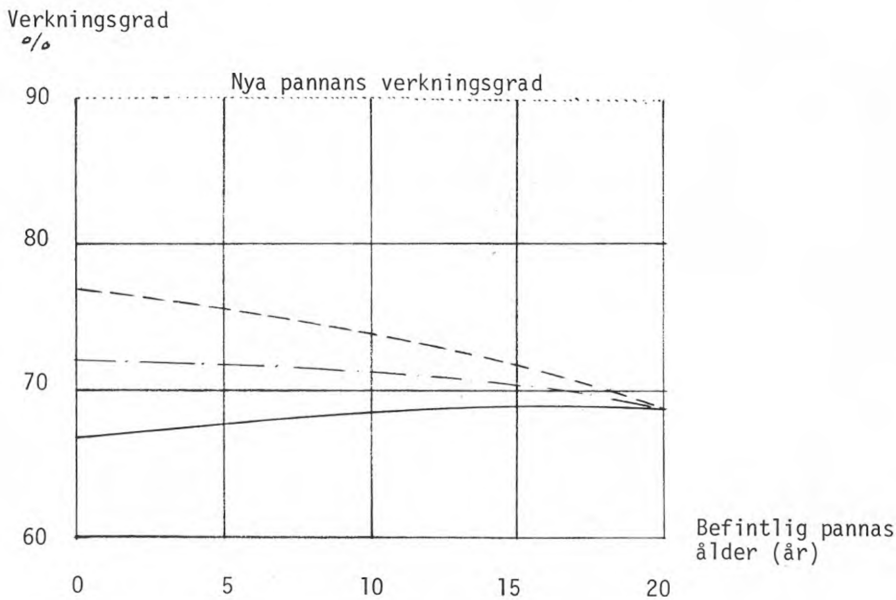


FIG. 35

Dagens energipris = 0,07 kr/kWh

- Priset blir oförändrat ————
- Priset ökar 4 % per år —·—·—·—
- Priset ökar 8 % per år — — — —

$T_2 = 0 \qquad \Delta N = 8000$

$$f = 0 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,08\,.20}}{0,08} = 20950\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 8000 \qquad \eta = 0,670$$

$$f = 0,04 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{0,5506}{0,04} = 28910\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 8000 \qquad \eta = 0,721$$

$$f = 0,08 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right).\ 20 = 42000\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 8000 \qquad \eta = 0,768$$

$T_2 = 4 \qquad \Delta N = 6932$

$$f = 0 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-1,28}}{0,08} = 18952\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 6932 \qquad \eta = 0,677$$

$$f = 0,04 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,64}}{0,04} = 24817\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 6932 \qquad \eta = 0,719$$

$$f = 0,08 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right).\ 16 = 33600\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 6932 \qquad \eta = 0,759$$

$T_2 = 8 \qquad \Delta N = 5725$

$$f = 0 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,96}}{0,08} = 16199\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 5725 \qquad \eta = 0,683$$

$$f = 0,04 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,48}}{0,04} = 20014\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 5725 \qquad \eta = 0,716$$

$$f = 0,08 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right).\ 12 = 25200\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 5725 \qquad \eta = 0,747$$

$T_2 = 12 \qquad \Delta N = 4284$

$$f = 0 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,64}}{0,08} = 12409\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 4284 \qquad \eta = 0,687$$

$$f = 0,04 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,32}}{0,04} = 14377\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 4284 \qquad \eta = 0,710$$

$$f = 0,08 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right).\ 8 = 16800\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 4284 \qquad \eta = 0,732$$

$T_2 = 16 \qquad \Delta N = 2462$

$$f = 0 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,32}}{0,08} = 7188\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 2462 \qquad \eta = 0,688$$

$$f = 0,04 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right)\frac{1 - e^{-0,16}}{0,04} = 7762\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 2462 \qquad \eta = 0,700$$

$$f = 0,08 \rightarrow N_E = 2100\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right).\ 4 = 8400\left(\frac{1}{\eta} - 1,111\right) = 2462 \qquad \eta = 0,712$$

$T_2 = 20 \qquad = 0$

ÅTGÄRD 7

JUSTERING AV VÄRMEPANNA

Karakteristik av åtgärden

Utgångsläget är en befintlig värmepanna i ett småhus, där pannans tillsyn försummats.

Åtgärden består av en justering av t.ex. brännarens inställning och en uppföljning därefter i form av en kontinuerlig service.

Modellhus

Samma som i åtgärd 1.

Förutsättningar för kalkylen

Uppgifter om vilken förhöjning av en "försummad" värmepannas verkningsgrad man kan påräkna genom en justering och årlig service är svåra att finna. Effekten varierar säkerligen inom vida gränser.

Kalkylen genomföres så att vi söker den höjning av verkningsgraden som fordras för att åtgärdens kostnader skall betalas tillbaka och diskuterar därefter sannolikheten av att detta resultat nås.

Kostnader och intäkter

Dagens energipris = 0,07 kr/kWh.

Åtgärdens kostnader i samma prisläge ca 175 kr/år. Åtgärden bedömes inte ha någon inverkan på övriga framtidskostnader (jämför dock anmärkningen under rubriken Diskussion).

Med dessa enkla förutsättningar krävs för lönsamhet att man genom åtgärden spar olja för minst 175 kr/år.

Pannans verkningsgrad utan åtgärd = μ_1
" " med åtgärd = μ_2

Detta ger villkoret

$$30.000\ \left(\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2}\right) \cdot 0{,}07 \geq 175$$

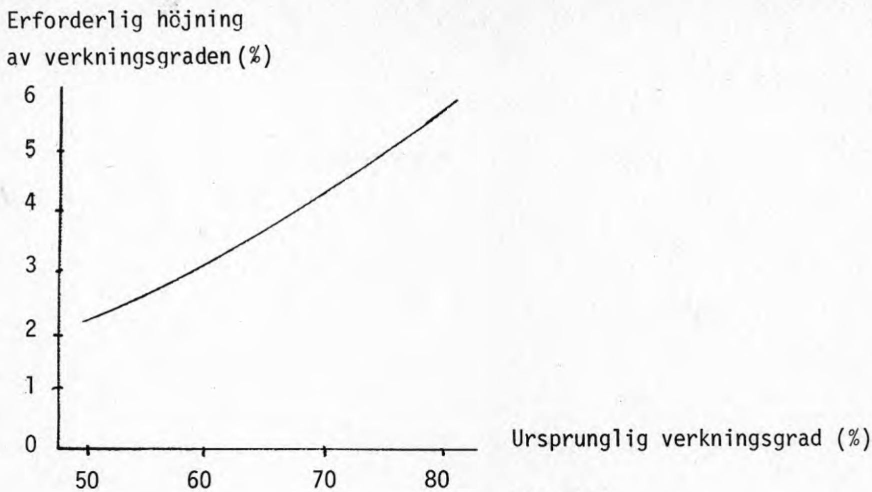


FIG. 36

Diskussion

Kalkylen visar att en kontinuerlig pannservice med injustering är lönsam om den höjer pannans verkningsgrad

från	50 %	till	ca	52 %
"	60 %	"	ca	63 %
"	70 %	"	ca	74 %
"	80 %	"	ca	86 %

Vi bedömer att detta villkor i de allra flesta fall är uppfyllt och att åtgärden med god marginal är lönsam.

Här har ingen hänsyn tagits till övriga positiva effekter av en kontinuerlig service av pannan i form av t.ex.

- totalt ökad livslängd genom minskad haveririsk
- minskad risk för driftsavbrott med åtföljande reparationsarbeten.

Dessa övriga effekter är sannolikt själva så stora att de helt kan bära servicekostnaderna.

ÅTGÄRD 8

TÄTNING AV FÖNSTER OCH DÖRRAR

Förutsättningar

Tätning av fönster eller dörrar torde ofta vara den mest lönsamma värmeisoleringsåtgärd som finns att tillgå i en befintlig byggnad. Det är också en av de enklaste och minst kostnadskrävande åtgärderna i detta sammanhang.

Blotta misstanken att en tätning inte är vad den borde vara är därför en tillräcklig anledning att göra någonting åt den i synnerhet som både mätningar och beräkningar för att bevisa behovet är komplicerade och osäkra.

Det kan ändå vara av ett visst intresse att kommentera beräkningsförutsättningarna.

Den luftmängd som passerar genom en otäthet i en yttervägg bestäms av tryckskillnaden mellan utomhus och inomhus. Denna tryckskillnad beror i huvudsak på vindförhållandena men även temperaturbilden inverkar.

Man har omfattande statistik på hur vinden varierar och känner också till vilka tryckskillnader som blir följden av en viss vindhastighet även om intresset varit mer inriktat på att bestämma maximalvärden istället för de medelvärden som bör användas i energisammanhang.

För att göra en riktig beräkning av energiförlusten genom en otäthet borde man också känna till hur vindhastighet och lufttemperatur förhåller sig till varandra. Det förefaller som om detta samband är otillräckligt undersökt. Med tanke på att den sammanlagda lufttransporten vid extremvärden på vindhastigheten är liten torde det dock vara försvarbart att förutsätta ortens årsmedeltemperatur på den luftmängd som under ett år strömmar genom en otäthet.

De uttryck som förekommer för beräkning av luftmängden kan vara uppbyggda på följande sätt.

$$Q = K \cdot b^{\alpha} \cdot d^{\beta} \cdot p^{2/3}$$

där Q är luftmängden i m^3/h

K = konstant

b = otäthetens bredd

d = otäthetens djup, d.v.s. den sträcka luften har att passera då den strömmar genom otätheten.

Värdet på α är 1 eller strax därunder medan man kan finna β-värden mellan -1 och -8/3. Man finner i litteraturen även undersökningar som tyder på att ett linjärt samband mellan Q och V skulle råda.

Så länge uppmätning av otäthetens bredd, form och ytskikt är ett förhållandevis besvärligt problem är en noggrannare beräkningsformel av litet praktiskt intresse men för att extrapolera mätresultat har dock uttrycken ett visst värde.

Att stora energimängder försvinner genom otätheter i fönster och dörrar bevisar inte att den helt täta konstruktionen skulle vara optimal eftersom kravet på ventilationssystem ökar med ökad täthet. Allt tyder dock på att man fortfarande inom överskådlig tid bör inrikta sig på att öka tätheten och tillföra luft på ett kontrollerbart sätt med möjlighet att utnyttja värmeåtervinning.

För de tätningsanordningar som finns idag har man i stor utsträckning fått nöja sig med det utrymme som råkat finnas i fönsterkonstruktion. Så är exempelvis problemet att konstruera en lätt utbytbar skarvlös list med god tätning inom ett tillräckligt toleransområde svårt då 1 till 3 mm utrymme står till buds men man finner säkert många lösningar om t.ex. 4 - 5 mm utrymme kunde disponeras.

Att tätningslistproblemet är ekonomiskt intressant framgår av följande exempel.

Utvärdering

Luftgenomströmningen genom otätheter i fönster och dörrar kan uttryckas genom sambandet

$$Q = K \cdot p^{2/3}$$

där Q = luftmängd i m^3/h

K = konstant som beror av fönsterkonstruktionen

p = tryckskillnaden i P_a mellan fönstrets in- och utsida.

Tryckskillnaden beror till viss del på temperaturförhållanden men ofta torde det vara tillräckligt att för en medelvärdesberäkning beakta enbart vindtrycket.

Medelvärdet på vindtrycket mot en byggnads ytterväggar kan uttryckas genom sambandet

$$p = 0{,}6 \cdot 0{,}6 \cdot V^2 \quad P_a$$

Vindhastigheten varierar t.ex. vid Bromma så att den är minst 1 m/sek. under 90,7 % av tiden. Motsvarande värden för 3, 6, 9 och 12 m/sek. är 69,8 %, 20,5 %, 2,9 % och 0,2 %.

Detta ger oss möjlighet att beräkna den medelvindhastighet som skall användas för att utvärdera medelvindtrycket.

$$V^2_{medel} = 0{,}029\ (\frac{12 + 9}{2})^2 + (0{,}205 - 0{,}029)\ (\frac{9 + 6}{2})^2$$

$$+ (0{,}698 - 0{,}205)\ (\frac{6 + 3}{2})^2 + (0{,}907 - 0{,}698)\ (\frac{3 + 1}{2})^2$$

$$+ (1{,}0 - 0{,}907)\ (\frac{1 + 0}{2})^2$$

$$V_{medel} = 4{,}9 \text{ m/sek.}$$

$$P_{medel} = 8{,}6\ P_a$$

Enligt Norges Byggforskningsinstitutt bör ett fönster med karmyttermåttet 1,2 x 1,2 m med faktorn K större än 1,0 betecknas som otillfredsställande tätt medan värdet 0,2 kan betecknas som gott.

Det kan vara rimligt att anta att resultatet av en tätning medför att K ändras från 1,0 till 0,2 vilket ger följande årsluftmängd.

$$Q = (1{,}0 - 0{,}2)\ .\ 8{,}6^{2/3}\ .\ 8760 \text{ m}^3/\text{år} = 30000 \text{ m}^3/\text{år}.$$

Medeltemperaturen i Bromma är ca 6 ^oC vilket innebär att den inströmmande luftens temperatur behöver höjas ca 21 - 6 = 15^o.

Luftens specifika värme är vidare 0,24 kcal/kg ^oC och dess specifika vikt = = 1,29 kg/m^3. Vid energikostnaden 0,07 kr/kWh erhålles årsbesparingen B.

$$B = 30000\ .\ 15\ .\ 0{,}24\ .\ 1{,}29\ .\ \frac{4200}{1000\ .\ 3600}\ .\ 0{,}07 = 11 \text{ kr/år}.$$

Materialkostnaden för tätningsbandet uppgår till ca 5 kr och arbetskostnaden är normalt av samma storleksordning.

Allt tyder alltså på att åtgärden i fråga är lönsam.

ÅTGÄRD 9

INSTALLATION AV VÄRMEVÄXLARE

I. Karakteristik av åtgärden

I ett kontorshus med mekanisk till- ocn frånluftsventilation och ett centralt fläktrum installeras en värmeväxlare för att tillvarata överskottsenergin i utblåsningsluften.

II. Modellhus

Kontorshus i Stockholm med en totalarea om 6000 m^2, vilket motsvarar ca 250 arbetsplatser.

Till- och frånluftsventilationen är kanalanslutna till ett centralt fläktrum.

Luftomsättning 50 m^3/person . h motsvarande ca 2 luftväxlingar/h.

Ingen returluft.

Värmeväxlare av typ SF KDDN - 5.

Befintliga fläktar tål det ökade motstånd som värmeväxlarens batterier ger.

Ventilationsanläggningen är i drift 12 h/dygn.

III. Speciella förutsättningar

Två alternativa antaganden göres beträffande tillgängligt utrymme.

1. Gynnsamma förutsättningar. Plats finns för att göra hela installationen i befintligt fläktrum.
2. Mindre gynnsamma förutsättningar. Installationerna kan inte utföras i befintligt fläktrum.

IV. Åtgärdens genomförande

1. Batterier, rörledningar, pump och expansionskärl installeras i befintligt fläktrum.
   Byggåtgärderna blir små.

2. Batterierna placeras i ventilationskanalerna i neutralt utrymme utanför fläktrummet. Rörledningar från batterierna dras till ett annat utrymme, där pump och expansionskärl placeras. Detta rum (storlek 5 m^2) går förlorat för uthyrning.

   Byggåtgärderna blir i detta fall väsentligt större.

V. <u>Beräkning av energibesparing</u>

Tilluftsflöde $\frac{50 \,.\, 250}{3600} = 3{,}47\ m^3/s$

Ingångstemperatur tilluft + 8 ^oC (medeltal)
- " - frånluft + 23 ^oC

Ventilationsanläggningen igång 07.00 - 19.00.

Temperaturverkningsgraden ca 48,5 %

Överförd effekt 8 kW per m^3/s, vilket ger 8 . 3,47 = 27,8 kW.

En driftstid om ca 320 . 12 = 3840 h ger en energiåtervinning om ca

3840 . 27,8 $\simeq$ 107.000 kWh/år.

Värmeväxlarens egen energiförbrukning är av storleksordningen 1000 - 2000 kWh/år.

Räkna med en resulterande energiåtervinning om 105.000 kWh/år.

VI. <u>Ekonomiska förutsättningar och bedömningar</u>

Förräntningskrav 8 %

Prisstegring allmänt 4 %

Effektiv ränta R = 8 - 4 = 4 %

Energiprisutveckling enligt två alternativ.

- prisstegringen samma som allmänna prisstegringen, d.v.s. F = 0
- prisstegring 4 % över den allmänna, d.v.s. F = 4 %.

VII. Kostnads- och intäktskalkylen

Kostnader för åtgärdens genomförande (kostnad A)

Alt. 1:	Installationskostnad		= 25.000 kr
	Byggkostnad		= 5.000 "
	Totalt	A_1	= 30.000 kr
Alt. 2:	Installationskostnad		= 35.000 kr
	Byggkostnad		= 15.000 "
	Totalt	A_2	= 50.000 kr

Inga avbrottskostnader vid åtgärdens genomförande förutsättes.

Inga bidrag till åtgärden utgår.

Energikostnadsbesparing (kostnad K . E)

Dagens energipris E_o = 0,07 kr/kWh, vilket ger årskostnadsbesparingen år 1 = $K \cdot E_o$ = 105.000 . 0,07 = 7.350 kr.

Övriga kontinuerliga framtidskostnader (kostnad C)

De årliga kostnaderna för värmeväxlarens drift, service och kontinuerliga underhåll bedömes vara 1.500 kr/år och lika stora i alternativ 1 och 2.*

Punktvisa framtidskostnader (kostnaden D)

Det förutsättes vara ekonomiskt rimligt att räkna med en utbytesperiod för värmeväxlaren om 20 år.

Vid T = 20, T = 40 o.s.v. uppstår alltså kostnaden D som i dagens kostnadsläge är lika stora som den tidigare beräknade kostnaden A.

* I alt. 2 tillkommer hyresförluster på utrymmet för pump och expansionskärl. Antag att utrymmet tidigare gav en hyresintäkt på 100 kr/m^2 . år. Detta ger en hyresförlust om 5 . 100 = 500 kr/år.

C_1 = - 1.500 kr/år

C_2 = - 1500 - 500 = - 2.000 kr/år

Riskkostnad för haveri (kostnad N_H)

En utbytescykel om 20 år är förutsatt. Vid en kalkyl av åtgärdens lönsamhet måste man täcka in risken för ett haveri av anläggningen före denna tidpunkt.

Anläggningen består i själva verket av flera komponenter, var och en med sin nyinstallationskostnad och sin risk för ett haveri. Vi gör här den förenklingen att vi räknar med en medelrisk som avser hela anläggningen. Kostnaden vid installation vid ett påtvingat tillfälle antages vara densamma som vid de planerade tillfällena.

Vi antager att risken för haveri av värmeväxlarens delar i medeltal beskrives av följande kurva.

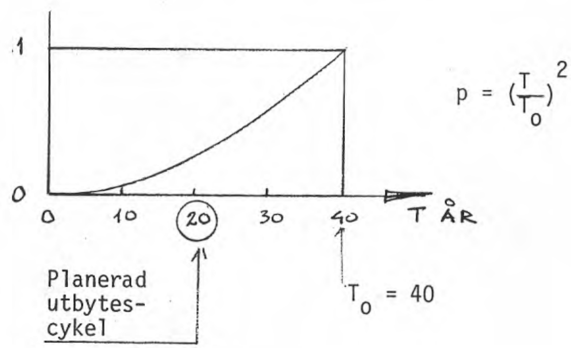


FIG. 37

Med dessa förutsättningar blir riskkostnaden för haveri under tiden 0 - 20 år 5,6 % av anläggningskostnaden, d.v.s.

N_H = 1700 kr i alt. 1

N_H = 2800 kr i alt. 2

Åtgärdens effekt på husets livslängd

Ingen sådan effekt förutsättes.

VIII. Utvärdering

Nuvärdet N av samtliga kostnader och intäkter under tiden T beskrives av formeln

$$N = - A - N_H - N_D + C \cdot \frac{1 - e^{-rT}}{r} + K \cdot E_o \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$$

Mot bakgrund av att värmeväxlarens utbytescykel planeras till 20 år, varefter den skall ersättas med en ny, betraktas i utvärderingen enbart kostnader och intäkter under de första 20 åren. Utbyteskostnaderna D och deras nuvärde N_D faller därvid bort. Som villkor för att åtgärden skall genomföras krävs att investeringen skall vara återbetald inom 20-års-perioden.

$$N = - A - N_H - \underbrace{1500 \frac{1 - e^{-0,04T}}{0,04}}_{X} + \underbrace{7350 \frac{1 - e^{-(0,04-f)T}}{0,04 - f}}_{Y}$$

där A = 30.000 kr, N_H = 1.700 kr vid T = 20 i alt. 1

A = 50.000 kr, N_H = 2.800 kr vid T = 20 i alt. 2

f = 0 alternativt 0,04

Beräkning av kostnaden X

T =	0	4	8	12	16	20
X =	0	5.545	10.269	14.296	17.727	20.650

Beräkning av kostnaden Y

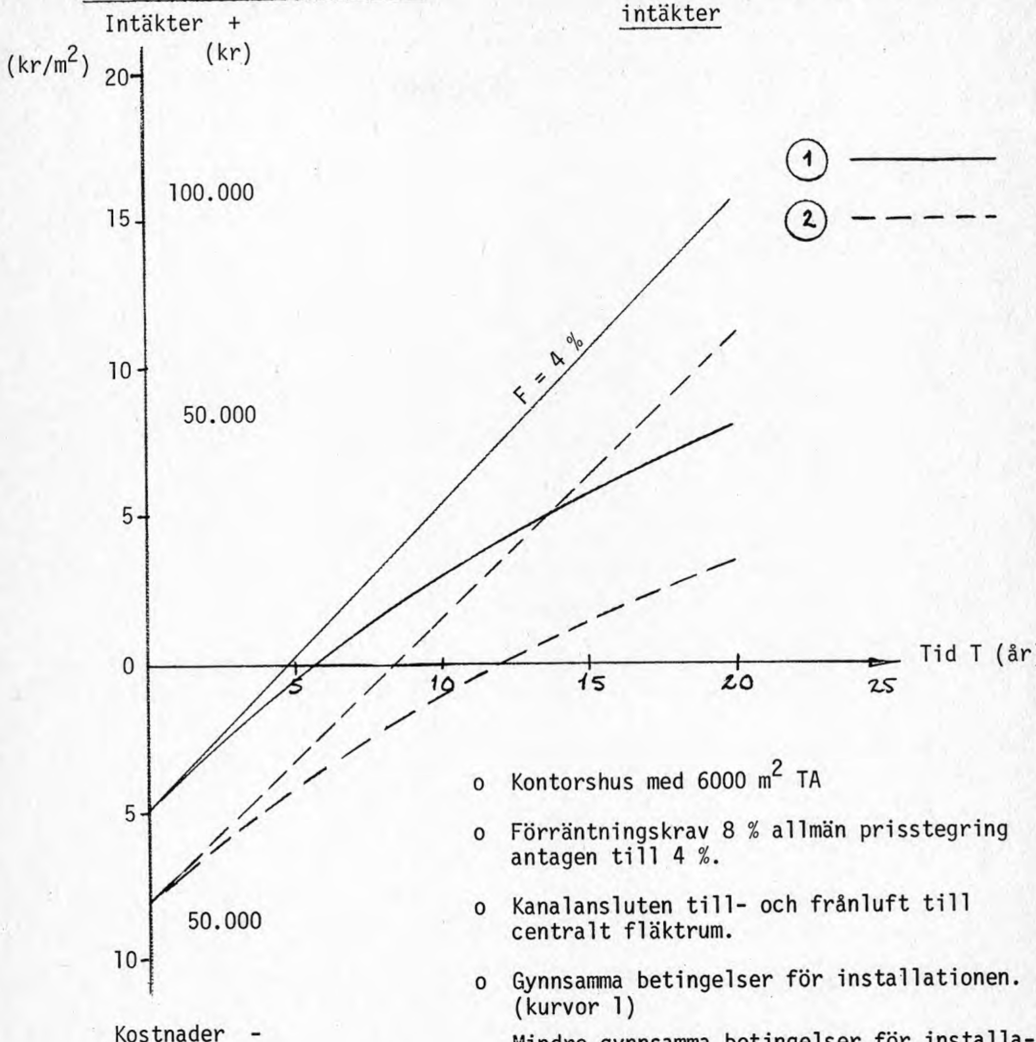
f	0	4	8	12	16	20
0	0	27.178	50.318	70.060	86.862	101.185
0,04	0	29.400	58.800	88.200	117.600	147.000

Kostnader och intäkter i kr/m^2 TA. Nuvärden

T (år)		0	4	8	12	16	20
Anläggningskostnad	1			- 500			
Anläggningskostnad	2			- 8,33			
Haveririskkostnad	1	0	- 0,01	- 0,05	- 0,10	- 0,18	- 0,28
Haveririskkostnad	2	0	- 0,02	- 0,07	- 0,17	- 0,30	- 0,47
Driftskostnad	1	0	- 0,92	- 1,71	- 2,38	- 2,95	- 3,44
	2	0	- 1,23	- 2,28	- 3,17	- 3,93	- 4,59
Energikostn.besp.	f=0	0	+ 4,53	+ 8,39	+11.68	+14,48	+16,86
Energikostn.besp.	f=0,04	0	+ 4,90	+ 9,80	+14,70	+19,60	+24,50
Summa 1	f=0	- 5,00	- 1,40	+ 1,63	+ 4,20	+ 6,35	+ 8,14
Summa 1	f=0,04	- 5,00	- 1,03	+ 3,04	+ 7,22	+11,47	+15,78
Summa 2	f=0	- 8,33	- 5,05	- 2,29	+ 0,01	+ 1,92	+ 3,47
Summa 2	f=0,04	- 8,33	- 4,68	- 0,88	+ 3,03	+ 7,04	+11,11

Installation av värmeväxlare

Nuvärde av åtgärdens kostnader och intäkter



- o Kontorshus med 6000 m^2 TA
- o Förräntningskrav 8 % allmän prisstegring antagen till 4 %.
- o Kanalansluten till- och frånluft till centralt fläktrum.
- o Gynnsamma betingelser för installationen. (kurvor 1)

  Mindre gynnsamma betingelser för installationen (kurvor 2)
- o Energiprisutveckling lika allmänna prisstegringen (F = 0)

  Energiprisutveckling 4 % över allmänna prisstegringen (F = 4 %).

FIG. 38

IX. Diskussion av resultatet

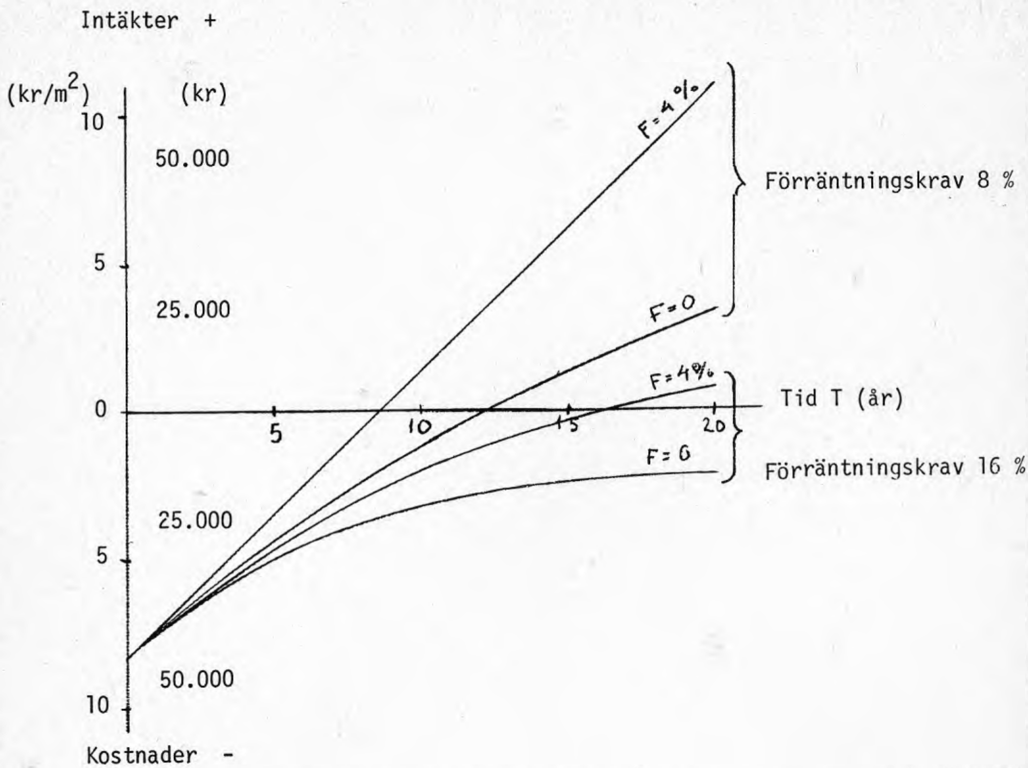
- Med de gjorda antagandena visar kalkylen lönsamhet i samtliga fall. Investeringen är återintjänad inom 5 - 10 år och den totala intäktsmarginalen är betryggande stor.

- De streckade kurvdelarna till höger i diagrammet visar hur nuvärdet skulle se ut efter 20 år om husägaren då väljer att fortsätta enligt den nu förutsedda utbytescykeln.

- En viktig förutsättning är att både till- och frånluftssidan är kanalansluten till fläktrummet. Om denna kanalanslutning eller delar av den måste göras i samband med installationen av värmeväxlaren förändras anläggningskostnaderna påtagligt och därmed förutsättningarna för lönsamhet.

- Som en tilläggskalkyl visas i det följande hur lönsamhetsbilden förändras i fallet 2 (med mindre gynnsamma betingelser för installationen) om förräntningskravet skärpes från 8 % till 16 %. Övriga förutsättningar och antaganden hålles oförändrade.

T (år)	0	4	8	12	16	20
Anläggningskostnad + haveririskkostnad	- 8,33	- 8,35	- 8,40	- 8,50	- 8,63	- 8,80
Driftskostnad	0	- 1,05	- 1,72	- 2,12	- 2,37	- 2,52
Energikostn.besp. f=0	0	+ 3,87	+ 6,32	+ 7,79	+ 8,72	+ 9,26
Energikostn.besp. f=0,04	0	- 4,19	+ 7,24	+ 9,45	+11,06	+12,22
Summa f=0	- 8,33	- 5,53	- 3,80	- 2,83	- 2,28	- 2,06
Summa f=0,04	- 8,33	- 5,21	- 2,88	- 1,17	+ 0,06	+ 0,90



Det höga förräntningskravet 16 % kan alltså inte tillgodoses vid de antagna förutsättningarna.

FIG. 39

ÅTGÄRD 10

INSTALLATION AV TIDSTERMOSTAT

I. Karakteristik av åtgärden

En tidstermostat installeras som reglerar lufttemperaturen så att rumstemperaturen mellan 06,00 och 22,00 uppfattas som 21 ^{0}C och mellan 22.00 och 06,00 uppfattas som minst 18 ^{0}C.

II. Modellhus

Åtgärdens lönsamhet undersökes både i villa och kontorshus.

III. Beräkning av energibesparing

Åtgärdens effekt blir i princip att dygnstemperaturgradienten varierar enligt fig. 40.

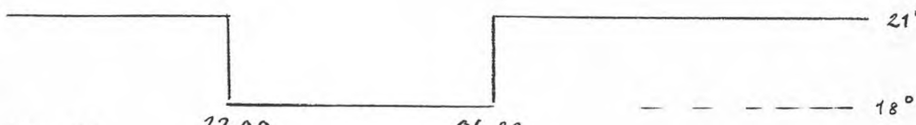


FIG. 40

Detta innebär att temperaturbehovet minskar med 3 ^{0}C . 8 . 270 h = 6480 h^{0}C.

Bilden är dock i verkligheten inte riktigt så enkel.

På kvällen kl. 22.00 kan man relativt snabbt minska uppvärmningen av inomhusluften så att dess temperatur sjunker under 18 ^{0}C med hänsyn till att yttemperaturen på väggar, golv och tak ännu någon timme ligger klart över 18 ^{0}C.

Härvid sänkes väggens temperatur och den energimängd som då frigöres kommer inneluften till godo, när det gäller innerväggar helt och hållet och för ytterväggar till stor del. Den energitransport som sker genom väggens utsida påverkas först om någon timme av inomhustemperatursänkningen.

När vi nu närmar oss kl. 06.00 måste lufttemperaturen i princip höjas till nära 24 ^{0}C för att vi då skall uppfatta inomhustemperaturen som 21 ^{0}C då yttemperaturen är 18 ^{0}C. Efterhand som rummets ytor värmes upp minskar behovet av denna temperaturdifferens och man närmar sig det jämnviktsläge som uppfattas som 21 ^{0}C rumstemperatur.

Större delar av den extra energitillförsel som måste sättas in på morgonen absorberas av husets stomme och kan därmed avbrytas innan energitransporten genom ytterväggens utsida påverkas nämnvärt.

I princip får man tillbaka denna energi på kvällen i och med att stommen avlämnar värme till inneluften.

Denna återvinning blir dock ej 100 % och härmed kommer väggens tyngd och värmekapacitet med i bilden av åtgärdens effektivitet.

Den energimängd som utbytes mellan luft och stomme i ovanstående situation visar sig vid många vanligt förekommande konstruktioner vara nära proportionell mot volymvikten för konstruktionens innersta delar samtidigt som tidsförloppet för temperaturvariationerna är nära konstant. Av detta kan man dra den slutsatsen att återvinningsprocenten blir nära konstant vid dessa konstruktioner vilket innebär att den tunga ytterväggen är ogynnsam vid tidsreglerad temperaturvariation. Detta kompenseras emellertid av dess förmåga att överbrygga hastiga utetemperaturvariationerna och det kan därmed vara rimligt att anta att verkningsgraden blir densamma vid olika väggkonstruktioner och det kan vara rimligt att anta att 80 % av den ursprungliga teoretiska besparingen kan tillgodogöras.

Den temperaturbild som här skisserats och som illustreras på fig. 41 kan ej hållas av en enkel termostat och det är inte heller nödvändigt. Däremot är det ej möjligt att nå ett acceptabelt temperaturförlopp om det ej finns reservkapacitet i uppvärmningssystemet som kan sättas in på morgonsidan. För det ändamålet skulle det också vara till fördel med en temperaturvariation i tre steg.

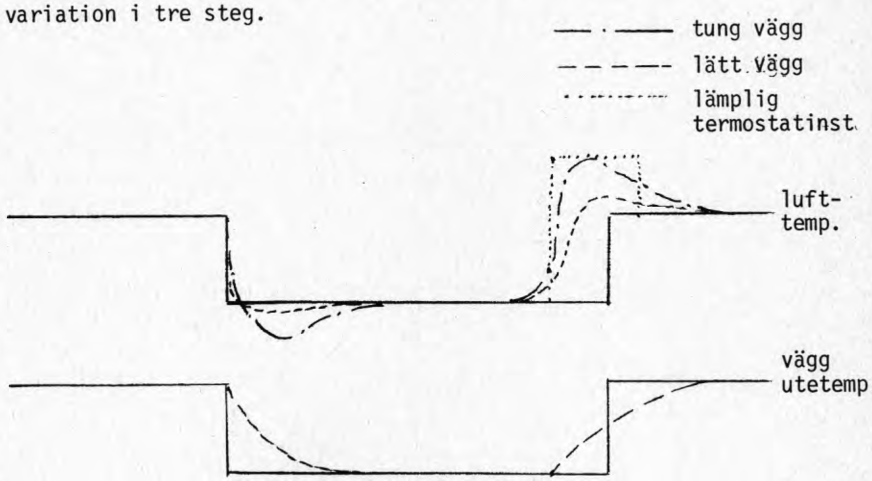


FIG. 41

Total energibesparing blir alltså 0,8 . 6480 = 5200 h . ^oC per år.

I en villa med temperaturförbrukningen 30000 kWh/år vid ett värmebehov via uppvärmningsanordningar på 115000 h ^oC blir alltså besparingen

$$\frac{5200}{115000} \cdot 30000 = 1350 \text{ kWh/år}$$

och i ett kontor med förbrukningen 150000 kWh blir besparingen

6750 kWh/år.

IV. Ekonomiska förutsättningar

Förräntningskravet sättes 8 %.
Den allmänna prisstegringen antages vara 4 %.
Energiprisutvecklingen antages dels följa den allmänna prisstegringstakten och dels vara 4 % högre. Installation av tidstermostat i villa antas vara 1.000 kr och i kontor 3.500 kr.

Det nuvarande energipriset förutsättes vara 0,07 kr/kWh.

V. Utvärdering

För villa:

$$N = -1000 + 0{,}07 \cdot 1350 \cdot \frac{1 - e^{(r-f)T}}{r - f}$$

där $r = 0{,}04$

$f = 0{,}04$ resp. 0

N = 0 ger T = 10,5 resp. 13,8 år.

För kontor:

$$N = -3500 + 0{,}07 \cdot 6750 \cdot \frac{1 - e^{(r-f)T}}{r - f}$$

N = 0 ger T = 7,4 resp. 8,8 år.

Lönsamhet nås alltså inom ovanstående tidsrymder under förutsättning att inget underhåll och inga reparationer behövs.

Sammanfattning

Det ekonomiska utfallet av en energibesparande åtgärd kan på ett mycket åskådligt sätt presenteras i ett diagram med tiden som horisontell axel där kurvor av funktionen $\frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f}$ finnes uppritade för olika r-värden.

I detta diagram inplaceras med basen på tidsaxelns vertikala staplar med höjden lika med kvoten mellan årskostnadsminskning och anläggningskostnad.

I de fall där det sammanlagda nuvärdet av olika framtida kostnader bestäms av samma ränta kan man nu få besked om när åtgärden blir lönsam vid olika värden på denna ränta genom att låta stapeln löpa längs tidsaxeln och avläsa den tidpunkt då dess övre ände skär kurva med aktuell ränta.

Då nuvärdestermerna beror av olika räntesatser t.ex. r och r - f förfar man lämpligen så att man låser t.ex. r vid ett par olika värden och får då två staplar som kan behandlas enligt ovan.

I vissa fall gäller beräkningarna för endast ett värde på T och man kan därmed inte dra några kvantitativa slutsatser av att låta stapeln löpa längs tidsaxeln.

Fortfarande är det dock intressant att placera in en sådan stapel i diagrammet tillsammans med staplar som gäller andra åtgärder. Det förhåller sig ju nämligen så att en stapels höjd direkt visar hur effektiv åtgärden ifråga är och man bör då efter att ha jämfört höjden av en mängd staplar placerade bredvid varandra i princip välja den åtgärd som representeras av den kortaste.

För att det skall vara så enkelt måste dock förutsättningarna gälla till alla delar och stapeln får ej representera en åtgärd för vilken resurserna är otillräckliga och vidare skall avkastningen vara minst vad man kräver.

Om nu förutsättningarna avviker kan dock stapelhöjden proportioneras om med hänsyn härtill och detta underlättas av att staplarna kan uppdela sin arbetskostnadsdel, sin materialkostnadsdel m.m.

För samtliga åtgärder som finns representerade i stapeldiagrammet har förutsatts att det nuvarande energipriset är 0,07 kr/kWh. Om ett annat pris visar sig vara riktigare kan stapelhöjden proportioneras om så att t.ex. ett fördubblat energipris halverar stapelhöjden under förutsättning att alla framtidskostnader är direkt proportionella mot energipriset.

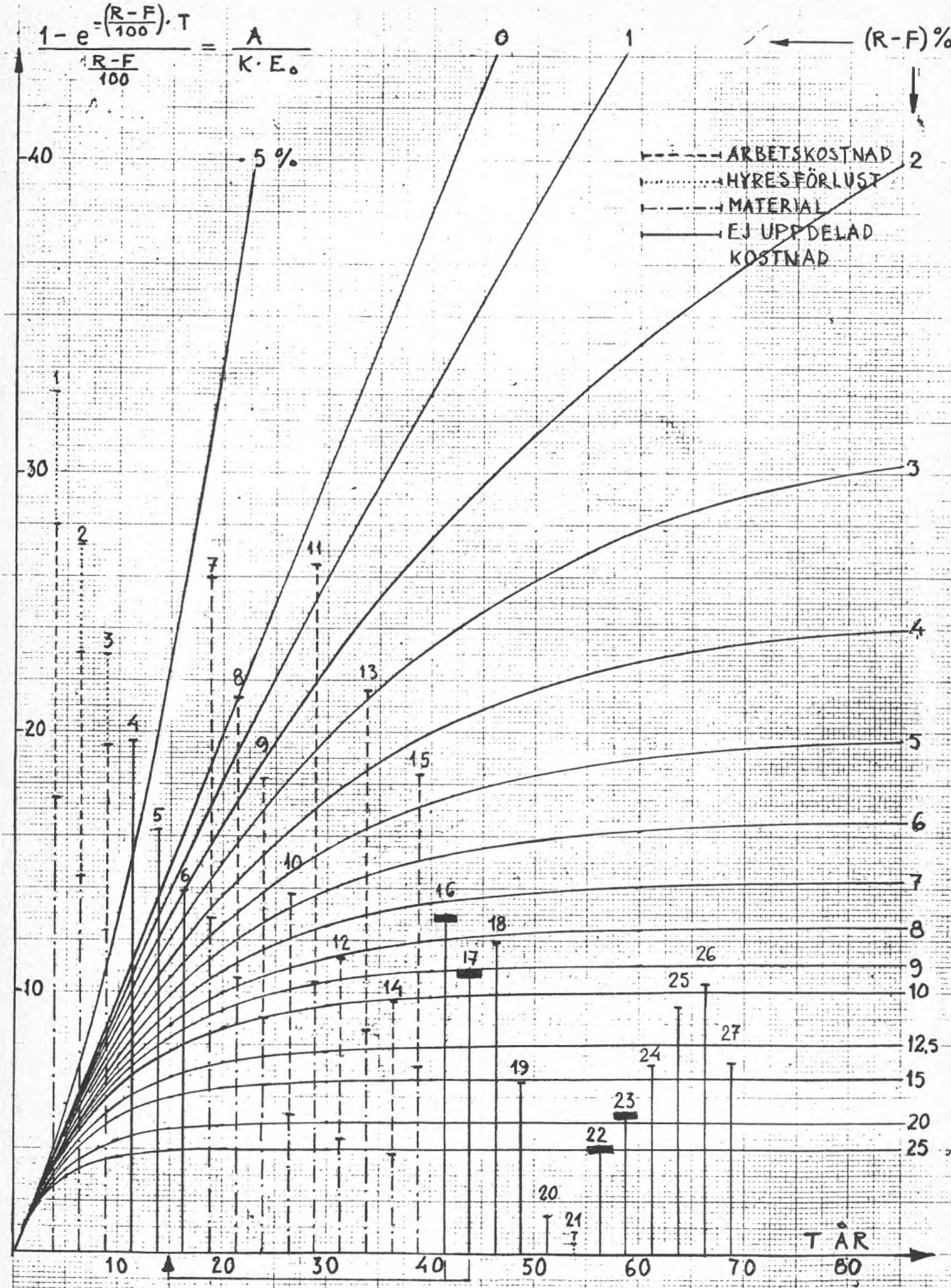
Där detta ej är fallet måste energiprisdelen avskiljas i beräkningarna innan omproportioneringen göres. Vid de staplar där detta är nödvändigt har detta markerats med en kraftig horisontell linje i toppen.

De staplar som gäller endast en tidpunkt har bundits till denna genom en pilmarkering.

Det presentationssätt som nu valts medför att en stor informationsmängd kan visas på ett lättläst och koncentrerat sätt och att man så att säga med ögonmått kan lägga in sina egna förutsättningar i bilden och snabbt begränsa sin valsituation till ett eller några få fördelaktiga alternativ.

Stapel 1	Tilläggsisolering av yttervägg enligt exempel 1. C = 0. Ort är Malmö.
Stapel 2	Lika 1 men i Stockholm.
Stapel 3	Lika 1 men i Luleå
Stapel 4	Tilläggsisolering av yttervägg med förenklat utförande enligt exempel 2. Ingen riskkostnad. Ort är Malmö.
Stapel 5	Lika 4 men i Stockholm.
Stapel 6	Lika 4 men i Luleå.
Stapel 7	Tilläggsisolering av källarvägg enligt exempel 3. Isoleringstjocklek 8 cm. Ort är Malmö.
Stapel 8	Lika 7 men i Stockholm.
Stapel 9	Lika 7 men i Luleå.
Stapel 10	Tilläggsisolering av vindsbjälklag enligt exempel 4. Bef. isolering sågspån tilläggsisolering 150 mm mineralull. Ort är Malmö.
Stapel 11	Lika 10 men bef. isolering av mineralull.

Stapel 12	Som stapel 10 men i Stockholm.
Stapel 13	Som stapel 11 men i Stockholm.
Stapel 14	Som stapel 10 men i Luleå.
Stapel 15	Som stapel 11 men i Luleå.
Stapel 16	Byte till treglasfönster enligt exempel 5. F = 0. T = 15. Ort är Stockholm.
Stapel 17	Som stapel 16 men F = 4 %.
Stapel 18	Utbyte av ny värmepanna enligt exempel 6. Verkningsgradsökning 0,7 - 0,9. n = 2. F = 0.
Stapel 19	Som stapel 18 men verkningsgradsökning från 0,5 till 0,7.
Stapel 20	Justering av panna enligt exempel 7. Verkningsgradsökning från 0,5 till 0,7.
Stapel 21	Tätning av fönster och dörrar enligt exempel 8.
Stapel 22	Installation av värmeväxlare enligt exempel 9. Alt. 1. $C_1 = 0$.
Stapel 23	Som stapel 22 men $C_1 = -1500$ och F = 0.
Stapel 24	Installation av värmeväxlare enligt exempel 9. Alt. $C_2 = 0$.
Stapel 25	Som stapel 24 men $C_2 = -2000$.
Stapel 26	Installation av tidstermostat i villa enligt exempel 10.
Stapel 27	Installation av tidstermostat i kontor enligt exempel 10.



$$\frac{1-e^{-\left(\frac{R-F}{100}\right)\cdot T}}{\frac{R-F}{100}} = \frac{A}{K \cdot E_0}$$
(R-F) %
ARBETSKOSTNAD
HYRESFÖRLUST
MATERIAL
EJ UPPDELAD KOSTNAD
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
12,5
15
20
25
5 %
40
30
20
10
10
20
30
40
50
60
70
80
T ÅR

DIAGRAM 42

AVSLUTNING

Dagens byggnadsbestånd är utformat för ett betydligt lägre energikostnadsläge än det som råder för närvarande.

Det finns därför redan i dag ett flertal åtgärder i energibesparande syfte som är privatekonomiskt lönsamma. Varje höjning av energikostnadsläget kommer också att innebära att det för husägarna blivit lönsamt att genomföra ytterligare vissa åtgärder för att minska energiförbrukningen i sina hus. Mängden och omfattningen av dessa varierar starkt beroende på skilda förutsättningar i varje enskilt fall.

Utan någon påverkan från samhällets sida kan man alltså räkna med en viss minskning av energiåtgången i det befintliga husbeståndet under förutsättning att husägarna i varje läge handlar på ekonomiskt bästa sätt.

I dagens energikostnadsläge och med antaganden om att den framtida energiprisutvecklingen inte drastiskt avviker från den allmänna prisutvecklingen tyder dock våra beräkningsexempel för befintliga byggnader på att endast en begränsad mängd energibesparande åtgärder blir lönsamma att genomföra.

Den ur samhällets synpunkt önskvärda sänkningen av energiförbrukningen ligger med säkerhet högre än den man når genom att enbart låta företags- eller privatekonomiska hänsyn verka på grundval av en oviss energikostnadsutveckling.

En anledning till detta kan vara att man i regel arbetar med felaktig energikostnadsprognos. Om samhällets ansvariga finner att det förhåller sig så borde detta offentliggöras. (En sådan deklaration skulle säkert underlätta för många som sysslar med energiproblem och troligen öka intresset för sådana).
Fortfarande finns dock säkert kvar en skillnad mellan den energibesparing som är önskvärd ur samhällets synpunkt och den som motiveras av privat- eller företagsekonomiska skäl. Det finns alltså ett intresse från samhällets sida att genom olika styrmedel påverka utvecklingen.

Lönsamheten av en energibesparande byggnadsteknisk åtgärd består matematiskt sett av ett samband mellan anläggningskostnad, ränteläge, avskrivningstid och energikostnad. Man kan alltså påverka utvecklingen genom en styrning av var och en av dessa parametrar och därigenom förändra lönsamhetsbilden.

I princip kan man således nå samma effekt genom att påverka t.ex. ränteläge och anläggningskostnad som genom att påverka energipriset.

Därmed kan följande alternativa styrmedel för ytterligare energibesparing särskiljas.

A. Förändring av lönsamhetsvillkoren för husägaren

1. Subventioner
   - av åtgärdskostnaden A (avskrivning av viss del)
   - av ränta (t.ex. räntesubventionerade lån)

   Samhället och husägaren delar på kostnaderna.

2. Påverkan på energipriset E (t.ex. genom energiskatt)

B. Begränsning av energiförbrukningen genom tvångsåtgärder

1. Generell påverkning genom begränsning av tillåten energiförbrukning (t.ex. uttryckt per ytenhet eller per funktionsenhet)
2. Punktvis påverka genom att t.ex. vissa åtgärder eller kvaliteter föreskrivs i norm.

   Husägaren ensam står för kostnaderna.

Åtgärder av typ B har den klara nackdelen att de medför begränsning av möjligheterna att använda sina resurser på fördelaktigaste sätt därför att ekonomiska och fysikaliska variationer i grundförutsättningarna ej kan beaktas med enkla föreskrifter.

Åtgärder av typ B 1 har nackdelen att den på grund av stor variation i förutsättningarna kan få vitt skilda konsekvenser för olika befintliga hus. Den har dock jämfört med åtgärder av typ B 2 den fördelen att husägaren utifrån de nya förutsättningarna kan göra jämförande ekonomiska kalkyler och välja den eller de minst lönsamma åtgärderna.

Åtgärder av typ B 2 har alltså den dubbla nackdelen att de dels kan slå orättvist, dels kan tvinga en husägare att vidta åtgärder som inte ens är de för honom minst olönsamma.

Subventioner av typ A 1 bör så långt möjligt göras generella eftersom en begränsning av valmöjligheterna i princip är ogynnsamma. Punktsubventioner skapar dessutom en ryckighet i marknadsutvecklingen som på sikt knappast är gynnsam för någon inblandad part.

Styrmedel av denna typ innebär att lönsamhetsgränsen flyttas men det är ändå fråga om att välja åtgärd efter jämförande ekonomiska kalkyler. Därmed föreligger i princip goda möjligheter till maximal förräntning av satsade pengar.

Man kommer dock ej ifrån att varje typ av subventionering som ej behovsprövas eller kontrolleras blir begränsat effektiv eftersom den kommer att gynna även mindre effektiva åtgärder och varje typ av subventionering som behovsprövas och kontrolleras leder till en kostnadskrävande organisationsapparat.

Ett intressant specialfall av subventionering av typ A 1 kan tänkas i ett läge när det i samhället finns överskott av arbetskraft. Bland tänkbara alternativ för beredskapssysselsättning bör en satsning på energibesparande åtgärder i befintliga byggnader i form av en tilläggsisolering e.d. alltid vara fördelaktig ur samhällets synpunkt. Åtgärderna har fördelen jämfört med flera andra att vara obegränsat nyttiga i följande mening.

a) Åtgärden belastas inte med andra kostnader än investeringskostnader. Inga framtida drifts- eller underhållskostnader tillkommer på grund av åtgärden. När investeringskostnaden är avskriven återstår endast en kontinuerlig intäkt i form av minskade energikostnader under husets återstående livslängd.

b) Åtgärden har ingen negativ inverkan på den omgivande miljön, endast en positiv i form av minskad mängd föroreningar från uppvärmningsanordningar.

c) Åtgärden verkar stimulerande för produktion av vissa produkter utan att man annat än mycket marginellt återfinner motsvarande marknadsbortfall för någon annan produkt.

Det bästa styrmedlet mot en ökad satsning på energibesparande åtgärder är dock en påverkan av energipriset. Styrkan av denna styrning kan varieras inom vida gränser t.ex. från en officiell deklaration om förväntad energiprisutveckling till ett läge där samhällets inkomster huvudsakligen utgöres av energiskatt.

Inom hela detta område kan det bästa handlingsalternativet bestämmas med enkla kalkyler av den typ som presenterats i föregående avsnitt. I varje enskilt fall kan alltså en optimal lösning erhållas med utgångspunkt från aktuella grundförutsättningar vilket innebär att maximala resurser kvarstår för andra ändamål vilket är både till den enskildes och samhällets nytta.

Med detta styrmedel kan man alltså i princip nå vilken nivå av optimalt energisparande man önskar utan att införa några detaljföreskrifter eller någon kontroll- och administrationsapparat.

Men man kommer naturligtvis fortfarande att vara starkt beroende av det internationella oljepriset och sambandet mellan verkligt eller fiktivt energipris och total åtgärdsmängd torde också vara en besvärlig fråga.

Dessa faktorer belastar dock även övriga styralternativ och detta i väl så stor utsträckning, bland annat därför att det knappast är möjligt att finna ett snabbare, effektivare och enklare sätt att korrigera energimedvetandenivån än genom att ändra energipriset.

För att förstärka och komplettera effekten av en officiell energikostnadsprognos kan emellertid styrmedel av annan typ än A 2 vara motiverade bland annat därför att de kan bestå av slutresultatet av en beräkning som av många uppfattas som besvärlig att genomföra.

Det är emellertid väsentligt att man härvid respekterar energikostnadsprognosen och att det fortfarande skall vara tillåtet att tillgodogöra sig den fördel som kan nås genom att beräkningar ifråga genomföres för just de förutsättningar som gäller i ett aktuellt fall.

De principiella fördelarna med att som styrmedel använda ett verkligt eller fiktivt energipris insatt i en energiprognos gällande för lång tid framåt är emellertid så betydande att det är fördelaktigt att satsa på detta inom en snar framtid.

I den mån något område härvid drabbar orättvist kompenseras detta lämpligen t.ex. med punktsubventioner som i allmänhet bör vara försedda med en öppen deklaration om att de skall avvecklas successivt inom en viss framtid.

Att gå den motsatta vägen och med hjälp av udda styrmedel försöka skapa en energiförbrukningsnivå där en sådan energikostnadsprognos kan insättas utan att någon skall anse sig orättvist drabbad torde däremot vara i det närmaste ogörligt.

Sedan vi nått ett läge där energiförbrukningen kan styras i huvudsak endast med hjälp av energipris med tillhörande energiprognos behöver man i normsammanhang endast ange hygieniska gränsvärden.

Det aktuella energipriset kan i viss utsträckning påverkas av vederbörlig myndighet men den framtida energiprisutvecklingen kommer naturligtvis att vara oviss även för de kunnigaste inom området.

Den kan därmed förefalla vara en alltför osäker grund att satsa helhjärtat på. Men det är inte nödvändigt att denna prognos är helt korrekt för att den skall göra nytta utan den behöver inte vara mera korrekt än medelvärdet av vad man i dag i vårt land mer eller mindre medvetet förutsätter då energibesparingsåtgärden dimensioneras för att det sammanlagda utbytet av sådana åtgärder skall ökas oavsett hur energikostnadsutvecklingen nu verkligen blir.

Det ligger också ett stort värde i att alla arbetar med energiproblemet med samma grundförutsättning och att denna grundförutsättning kan revideras snabbt och enkelt.

Det ligger också ett stort värde i ett styrmedel utan detaljföreskrifter som kan ligga som hinder för eller leda utvecklingen i fel riktning och att åtgärd kan väljas med hänsyn till de lokala förutsättningar som föreligger i varje enskilt fall.

Alla problem är dock ej undanröjda i och med att det framtida energipriset kan anses vara bekant. Initialkostnaderna för en åtgärd är exempelvis ofta svara att i förväg bestämma med tillfredsställande noggrannhet och framför allt kan det i vissa lägen vara problematiskt att noggrant beskriva sin utgångssituation. Det är dock bättre att ta hänsyn till sitt utgångsläge även om det ej låter sig beskrivas med exakta siffror än att bortse helt ifrån det.

Allmänt gäller vid de energikalkyler som här beskrivits att det ekonomiska utfallet i närheten av de optimala punkter som sökts varierar långsamt och om man finner något praktiskt motiv för att korrigera sitt resultat något uppåt eller nedåt torde det därför i regel vara riktigt att genomföra denna korrektion.

TABELL 1

FUNKTIONEN: $n_K = \dfrac{1 - E^{-(R-F)T}}{R - F}$

R-F	T=5	T=10	T=15	T=20	T=30	T=40	T=60	T=100
-.050	5.68	12.97	22.34	34.37	69.63	127.78	381.71	2948.26
-.048	5.65	12.83	21.97	33.58	67.10	121.27	350.30	2510.63
-.046	5.62	12.70	21.60	32.81	64.67	115.14	321.74	2140.96
-.044	5.59	12.56	21.25	32.07	62.35	109.37	295.75	1828.43
-.042	5.56	12.43	20.90	31.34	60.13	103.94	272.11	1563.96
-.040	5.54	12.30	20.55	30.64	58.00	98.83	250.58	1339.95
-.038	5.51	12.17	20.22	29.95	55.97	94.01	230.97	1150.03
-.036	5.48	12.04	19.89	29.29	54.02	89.46	213.09	988.84
-.034	5.45	11.91	19.57	28.64	52.15	85.18	196.78	851.89
-.032	5.42	11.79	19.25	28.02	50.37	81.14	181.90	735.39
-.030	5.39	11.66	18.94	27.40	48.65	77.34	168.32	636.18
-.028	5.37	11.54	18.64	26.81	47.01	73.74	155.91	551.59
-.026	5.34	11.42	18.35	26.23	45.44	70.35	144.57	479.37
-.024	5.31	11.30	18.06	25.67	43.93	67.15	134.20	417.63
-.022	5.29	11.19	17.77	25.12	42.49	64.13	124.70	364.77
-.020	5.26	11.07	17.49	24.59	41.11	61.28	116.01	319.45
-.018	5.23	10.96	17.22	24.07	39.78	58.58	108.04	280.54
-.016	5.21	10.84	16.95	23.57	38.50	56.03	100.73	247.06
-.014	5.18	10.73	16.69	23.08	37.28	53.62	94.03	218.23
-.012	5.15	10.62	16.43	22.60	36.11	51.34	87.87	193.34
-.010	5.13	10.52	16.18	22.14	34.99	49.18	82.21	171.83
-.008	5.10	10.41	15.94	21.69	33.91	47.14	77.01	153.19
-.006	5.08	10.31	15.70	21.25	32.87	45.21	72.22	137.02
-.004	5.0	10.20	15.46	20.82	31.87	43.38	67.81	122.96
-.002	5.03	10.10	15.23	20.41	30.92	41.64	63.75	110.70
0.000	5.00	10.00	15.00	20.00	30.00	40.00	60.00	100.00
.002	4.98	9.90	14.78	19.61	29.12	38.44	56.54	90.63
.004	4.95	9.80	14.56	19.22	28.27	36.96	53.34	82.42
.006	4.93	9.71	14.34	18.85	27.45	35.56	50.39	75.20
.008	4.90	9.61	14.13	18.48	26.67	34.23	47.65	68.83
.010	4.88	9.52	13.93	18.13	25.92	32.97	45.12	63.21
.012	4.85	9.42	13.73	17.78	25.19	31.77	42.77	58.23
.014	4.83	9.33	13.53	17.44	24.50	30.63	40.59	53.81
.016	4.81	9.24	13.34	17.12	23.83	29.54	38.57	49.88
.018	4.78	9.15	13.15	16.80	23.18	28.51	36.69	46.37
.020	4.76	9.06	12.96	16.48	22.56	27.53	34.94	43.23
.022	4.73	8.98	12.78	16.18	21.96	26.60	33.31	40.42
.024	4.71	8.89	12.60	15.88	21.39	25.71	31.79	37.89
.026	4.69	8.81	12.42	15.60	20.83	24.87	30.38	35.60
.028	4.67	8.72	12.25	15.31	20.30	24.06	29.06	33.54
.030	4.64	8.64	12.08	15.04	19.78	23.29	27.82	31.67
.032	4.62	8.56	11.91	14.77	19.28	22.56	26.67	29.98
.034	4.60	8.48	11.75	14.51	18.81	21.86	25.59	28.43
.036	4.58	8.40	11.59	14.26	18.34	21.20	24.57	27.02
.038	4.55	8.32	11.43	14.01	17.90	20.56	23.62	25.73
.040	4.53	8.24	11.28	13.77	17.47	19.95	22.73	24.54
.042	4.51	8.17	11.13	13.53	17.06	19.37	21.89	23.45
.044	4.49	8.09	10.98	13.30	16.66	18.82	21.11	22.45
.046	4.47	8.02	10.84	13.08	16.27	18.29	20.36	21.52
.048	4.45	7.94	10.69	12.86	15.90	17.78	19.66	20.66

$$\text{FUNKTIONEN: } n_k = \frac{1 - E^{-(R-F)T}}{R - F}$$

R-F	T=5	T=10	T=15	T=20	T=30	T=40	T=60	T=100
.050	4.42	7.87	10.55	12.64	15.54	17.29	19.00	19.87
.052	4.40	7.80	10.42	12.43	15.19	16.83	18.38	19.12
.054	4.38	7.73	10.28	12.23	14.85	16.38	17.79	18.43
.056	4.36	7.66	10.15	12.03	14.53	15.96	17.24	17.79
.058	4.34	7.59	10.02	11.84	14.22	15.55	16.71	17.19
.060	4.32	7.52	9.89	11.65	13.91	15.15	16.21	16.63
.062	4.30	7.45	9.77	11.46	13.62	14.78	15.74	16.10
.064	4.28	7.39	9.64	11.28	13.33	14.42	15.29	15.60
.066	4.26	7.32	9.52	11.10	13.06	14.07	14.86	15.13
.068	4.24	7.26	9.40	10.93	12.79	13.74	14.46	14.69
.070	4.22	7.19	9.29	10.76	12.54	13.42	14.07	14.27
.072	4.20	7.13	9.17	10.60	12.29	13.11	13.70	13.88
.074	4.18	7.07	9.06	10.44	12.05	12.81	13.35	13.51
.076	4.16	7.00	8.95	10.28	11.81	12.53	13.02	13.15
.078	4.14	6.94	8.84	10.13	11.59	12.25	12.70	12.82
.080	4.12	6.88	8.74	9.98	11.37	11.99	12.40	12.50
.082	4.10	6.82	8.63	9.83	11.15	11.74	12.11	12.19
.084	4.08	6.77	8.53	9.69	10.95	11.49	11.83	11.90
.086	4.06	6.71	8.43	9.55	10.75	11.26	11.56	11.63
.088	4.05	6.65	8.33	9.41	10.55	11.03	11.31	11.36
.090	4.03	6.59	8.23	9.27	10.36	10.81	11.06	11.11
.092	4.01	6.54	8.14	9.14	10.18	10.60	10.83	10.87
.094	3.99	6.48	8.04	9.01	10.00	10.39	10.60	10.64
.096	3.97	6.43	7.95	8.89	9.83	10.19	10.38	10.42
.098	3.95	6.37	7.86	8.77	9.66	10.00	10.18	10.20
.100	3.93	6.32	7.77	8.65	9.50	9.82	9.98	10.00
.102	3.92	6.27	7.68	8.53	9.34	9.64	9.78	9.80
.104	3.90	6.22	7.59	8.41	9.19	9.47	9.60	9.62
.106	3.88	6.17	7.51	8.30	9.04	9.30	9.42	9.43
.108	3.86	6.11	7.43	8.19	8.90	9.14	9.25	9.26
.110	3.85	6.06	7.35	8.08	8.76	8.98	9.08	9.09
.112	3.83	6.02	7.26	7.98	8.62	8.83	8.92	8.93
.114	3.81	5.97	7.19	7.87	8.48	8.68	8.76	8.77
.116	3.79	5.92	7.11	7.77	8.36	8.54	8.61	8.62
.118	3.78	5.87	7.03	7.67	8.23	8.40	8.47	8.47
.120	3.76	5.82	6.96	7.58	8.11	8.26	8.33	8.33
.122	3.74	5.78	6.88	7.48	7.99	8.13	8.19	8.20
.124	3.73	5.73	6.81	7.39	7.87	8.01	8.06	8.06
.126	3.71	5.69	6.74	7.30	7.76	7.89	7.93	7.94
.128	3.69	5.64	6.67	7.21	7.64	7.77	7.81	7.81
.130	3.68	5.60	6.60	7.12	7.54	7.65	7.69	7.69
.132	3.66	5.55	6.53	7.04	7.43	7.54	7.57	7.58
.134	3.64	5.51	6.46	6.95	7.33	7.43	7.46	7.46
.136	3.63	5.47	6.40	6.87	7.23	7.32	7.35	7.35
.138	3.61	5.42	6.33	6.79	7.13	7.22	7.24	7.25
.140	3.60	5.38	6.27	6.71	7.04	7.12	7.14	7.14
.142	3.58	5.34	6.21	6.63	6.94	7.02	7.04	7.04
.144	3.56	5.30	6.14	6.55	6.85	6.92	6.94	6.94
.146	3.55	5.26	6.08	6.48	6.76	6.83	6.85	6.85
.148	3.53	5.22	6.02	6.41	6.68	6.74	6.76	6.76

FUNKTIONEN: $n_K = \dfrac{1 - E}{\&R - F}$

R-F	T=5	T=10	T=15	T=20	T=30	T=40	T=60	T=100
.150	3.52	5.18	5.96	6.33	6.59	6.65	6.67	6.67
.152	3.50	5.14	5.91	6.26	6.51	6.56	6.58	6.58
.154	3.49	5.10	5.85	6.20	6.43	6.48	6.49	6.49
.156	3.47	5.06	5.79	6.13	6.35	6.40	6.41	6.41
.158	3.46	5.03	5.74	6.06	6.27	6.32	6.33	6.33
.160	3.44	4.99	5.68	6.00	6.20	6.24	6.25	6.25
.162	3.43	4.95	5.63	5.93	6.12	6.16	6.17	6.17
.164	3.41	4.91	5.58	5.87	6.05	6.09	6.10	6.10
.166	3.40	4.88	5.52	5.81	5.98	6.02	6.02	6.02
.168	3.38	4.84	5.47	5.75	5.91	5.95	5.95	5.95
.170	3.37	4.81	5.42	5.69	5.85	5.88	5.88	5.88
.172	3.35	4.77	5.37	5.63	5.78	5.81	5.81	5.81
.174	3.34	4.74	5.32	5.57	5.72	5.74	5.75	5.75
.176	3.33	4.70	5.28	5.51	5.65	5.68	5.68	5.68
.178	3.31	4.67	5.23	5.46	5.59	5.61	5.62	5.62
.180	3.30	4.64	5.18	5.40	5.53	5.55	5.56	5.56
.182	3.28	4.60	5.14	5.35	5.47	5.49	5.49	5.49
.184	3.27	4.57	5.09	5.30	5.41	5.43	5.43	5.43
.186	3.26	4.54	5.05	5.25	5.36	5.37	5.38	5.38
.188	3.24	4.51	5.00	5.20	5.30	5.32	5.32	5.32
.190	3.23	4.48	4.96	5.15	5.25	5.26	5.26	5.26
.192	3.21	4.44	4.92	5.10	5.19	5.21	5.21	5.21
.194	3.20	4.41	4.87	5.05	5.14	5.15	5.15	5.15
.196	3.19	4.38	4.83	5.00	5.09	5.10	5.10	5.10
.198	3.17	4.35	4.79	4.95	5.04	5.05	5.05	5.05
.200	3.16	4.32	4.75	4.91	4.99	5.00	5.00	5.00
.202	3.15	4.29	4.71	4.86	4.94	4.95	4.95	4.95
.204	3.13	4.26	4.67	4.82	4.89	4.90	4.90	4.90
.206	3.12	4.24	4.63	4.78	4.84	4.85	4.85	4.85
.208	3.11	4.21	4.60	4.73	4.80	4.81	4.81	4.81
.210	3.10	4.18	4.56	4.69	4.75	4.76	4.76	4.76
.212	3.08	4.15	4.52	4.65	4.71	4.72	4.72	4.72
.214	3.07	4.12	4.48	4.61	4.67	4.67	4.67	4.67
.216	3.06	4.10	4.45	4.57	4.62	4.63	4.63	4.63
.218	3.04	4.07	4.41	4.53	4.58	4.59	4.59	4.59
.220	3.03	4.04	4.38	4.49	4.54	4.54	4.55	4.55
.222	3.02	4.02	4.34	4.45	4.50	4.50	4.50	4.50
.224	3.01	3.99	4.31	4.41	4.46	4.46	4.46	4.46
.226	3.00	3.96	4.28	4.38	4.42	4.42	4.42	4.42
.228	2.98	3.94	4.24	4.34	4.38	4.39	4.39	4.39
.230	2.97	3.91	4.21	4.30	4.34	4.35	4.35	4.35
.232	2.96	3.89	4.18	4.27	4.31	4.31	4.31	4.31
.234	2.95	3.86	4.15	4.23	4.27	4.27	4.27	4.27
.236	2.94	3.84	4.11	4.20	4.23	4.24	4.24	4.24
.238	2.92	3.81	4.08	4.17	4.20	4.20	4.20	4.20
.240	2.91	3.79	4.05	4.13	4.16	4.17	4.17	4.17
.242	2.90	3.76	4.02	4.10	4.13	4.13	4.13	4.13
.244	2.89	3.74	3.99	4.07	4.10	4.10	4.10	4.10
.246	2.88	3.72	3.96	4.04	4.06	4.06	4.07	4.07
.248	2.87	3.69	3.93	4.00	4.03	4.03	4.03	4.03

TABELL 2

FUNKTIONEN $L_N=E^{-RT}*(RT^{N}+(N-1)RT^{N-1}+(N-1)(N-2)RT^{N-2}...(N-1)!*RT+(N-1)!)$

RT	L1	L2	L3	L4	L5	L7	L10
0.0	1.00000	1.00000	2.00000	6.00000	24.0000	720.000	362880.0
.1	.90484	.99532	1.99969	5.99998	24.0000	720.000	362880.0
.2	.81873	.98248	1.99770	5.99966	23.9999	720.000	362880.0
.3	.74082	.96306	1.99280	5.99841	23.9996	720.000	362880.0
.4	.67032	.93845	1.98415	5.99534	23.9985	720.000	362880.0
.5	.60653	.90980	1.97122	5.98949	23.9959	719.999	362880.0
.6	.54881	.87810	1.95377	5.97985	23.9905	719.998	362880.0
.7	.49659	.84420	1.93172	5.96548	23.9811	719.994	362880.0
.8	.44933	.80879	1.90515	5.94552	23.9661	719.985	362880.0
.9	.40657	.77248	1.87429	5.91925	23.9437	719.969	362880.0
1.0	.36788	.73576	1.83940	5.88607	23.9122	719.940	362880.0
1.1	.33287	.69903	1.80083	5.84555	23.8696	719.893	362879.9
1.2	.30119	.66263	1.75897	5.79739	23.8141	719.819	362879.8
1.3	.27253	.62682	1.71422	5.74143	23.7441	719.709	362879.6
1.4	.24660	.59183	1.66700	5.67765	23.6579	719.552	362879.2
1.5	.22313	.55783	1.61769	5.60615	23.5542	719.333	362878.5
1.6	.20190	.52493	1.56672	5.52712	23.4316	719.038	362877.4
1.7	.18268	.49325	1.51445	5.44086	23.2892	718.650	362875.7
1.8	.16530	.46284	1.46124	5.34775	23.1262	718.150	362873.0
1.9	.14957	.43375	1.40744	5.24821	22.9420	717.519	362869.0
2.0	.13534	.40601	1.35335	5.14274	22.7363	716.736	362863.1
2.1	.12246	.37961	1.29926	5.03186	22.5090	715.779	362854.9
2.2	.11080	.35457	1.24543	4.91611	22.2601	714.628	362843.4
2.3	.10026	.33085	1.19208	4.79608	21.9900	713.259	362827.8
2.4	.09072	.30844	1.13942	4.67234	21.6992	711.652	362806.9
2.5	.08208	.28730	1.08763	4.54546	21.3883	709.785	362779.4
2.6	.07427	.26738	1.03686	4.41601	21.0582	707.638	362743.7
2.7	.06721	.24866	.98725	4.28455	20.7098	705.190	362698.1
2.8	.06081	.23108	.93891	4.15162	20.3442	702.424	362640.5
2.9	.05502	.21459	.89193	4.01774	19.9626	699.324	362568.6
3.0	.04979	.19915	.84638	3.88339	19.5663	695.874	362479.9
3.1	.04505	.18470	.80233	3.74904	19.1565	692.061	362371.6
3.2	.04076	.17120	.75981	3.61512	18.7347	687.874	362240.6
3.3	.03688	.15860	.71885	3.48203	18.3022	683.305	362083.6
3.4	.03337	.14684	.67948	3.35014	17.8604	678.346	361897.1
3.5	.03020	.13589	.64169	3.21980	17.4107	672.993	361677.1
3.6	.02732	.12569	.60549	3.09130	16.9545	667.243	361419.7
3.7	.02472	.11620	.57087	2.96492	16.4933	661.097	361120.6
3.8	.02237	.10738	.53779	2.84091	16.0282	654.557	360775.6
3.9	.02024	.09919	.50625	2.71948	15.5608	647.628	360379.9

FUNKTIONEN $L_N = E^{-RT} * (RT^N + (N-1)RT^{N-1} + (N-1)(N-2)RT^{N-2} \ldots (N-1)! * RT + (N-1)!)$

RT	L1	L2	L3	L4	L5	L7	L10
4.0	.01832	.09158	.47621	2.60082	15.0921	640.315	359929.0
4.1	.01657	.08452	.44763	2.48509	14.6234	632.627	359418.0
4.2	.01500	.07798	.42048	2.37242	14.1558	624.574	358842.2
4.3	.01357	.07191	.39471	2.26292	13.6905	616.169	358196.8
4.4	.01228	.06630	.37028	2.15669	13.2284	607.425	357476.7
4.5	.01111	.06110	.34716	2.05378	12.7705	598.356	356677.4
4.6	.01005	.05629	.32528	1.95424	12.3176	588.981	355794.0
4.7	.00910	.05184	.30460	1.85810	11.8706	579.316	354821.9
4.8	.00823	.04773	.28508	1.76538	11.4302	569.379	353756.8
4.9	.00745	.04393	.26666	1.67607	10.9971	559.191	352594.2
5.0	.00674	.04043	.24930	1.59016	10.5718	548.772	351330.2
5.1	.00610	.03719	.23296	1.50761	10.1550	538.142	349961.0
5.2	.00552	.03420	.21757	1.42839	9.7471	527.323	348482.9
5.3	.00499	.03145	.20311	1.35246	9.3484	516.336	346892.9
5.4	.00452	.02891	.18952	1.27975	8.9595	505.203	345187.8
5.5	.00409	.02656	.17675	1.21020	8.5804	493.946	343365.2
5.6	.00370	.02441	.16478	1.14373	8.2116	482.586	341422.9
5.7	.00335	.02242	.15355	1.08029	7.8532	471.144	339359.0
5.8	.00303	.02059	.14302	1.01978	7.5052	459.642	337172.2
5.9	.00274	.01890	.13316	.96212	7.1680	448.100	334861.2
6.0	.00248	.01735	.12394	.90722	6.8414	436.538	332425.7
6.1	.00224	.01592	.11531	.85501	6.5255	424.976	329865.2
6.2	.00203	.01461	.10724	.80538	6.2203	413.434	327180.1
6.3	.00184	.01341	.09969	.75824	5.9257	401.928	324371.0
6.4	.00166	.01230	.09265	.71351	5.6417	390.477	321438.8
6.5	.00150	.01128	.08607	.67110	5.3681	379.097	318385.1
6.6	.00136	.01034	.07994	.63091	5.1049	367.804	315211.7
6.7	.00123	.00948	.07421	.59285	4.8518	356.614	311920.7
6.8	.00111	.00869	.06888	.55683	4.6087	345.540	308514.8
6.9	.00101	.00796	.06390	.52278	4.3755	334.595	304997.0
7.0	.00091	.00730	.05927	.49059	4.1518	323.792	301370.4
7.1	.00083	.00668	.05496	.46019	3.9375	313.142	297638.7
7.2	.00075	.00612	.05095	.43150	3.7324	302.656	293805.7
7.3	.00068	.00561	.04721	.40444	3.5362	292.343	289875.8
7.4	.00061	.00513	.04374	.37892	3.3486	282.212	285853.3
7.5	.00055	.00470	.04051	.35487	3.1695	272.271	281742.8
7.6	.00050	.00430	.03751	.33223	2.9985	262.527	277549.3
7.7	.00045	.00394	.03473	.31091	2.8355	252.986	273277.8
7.8	.00041	.00361	.03214	.29086	2.6801	243.653	268933.6
7.9	.00037	.00330	.02974	.27200	2.5321	234.533	264522.0

FUNKTIONEN $L_N = E^{-RT} * (RT^{N} + (N-1) RT^{N-1} + (N-1)(N-2) RT^{N-2} \ldots (N-1)! * RT + (N-1)!)$

RT	L1	L2	L3	L4	L5	L7	L10
8.0	.00034	.00302	.02751	.25428	2.3912	225.629	260048.6
8.1	.00030	.00276	.02544	.23763	2.2572	216.946	255518.9
8.2	.00027	.00253	.02352	.22200	2.1298	208.484	250938.6
8.3	.00025	.00231	.02174	.20733	2.0087	200.247	246313.4
8.4	.00022	.00211	.02009	.19356	1.8938	192.235	241648.9
8.5	.00020	.00193	.01857	.18065	1.7847	184.448	236951.1
8.6	.00018	.00177	.01715	.16856	1.9813	176.887	232225.5
8.7	.00017	.00162	.01584	.15722	1.5832	169.551	227477.9
8.8	.00015	.00148	.01463	.14660	1.4903	162.439	222713.8
8.9	.00014	.00135	.01350	.13666	1.4024	155.550	217939.0
9.0	.00012	.00123	.01246	.12736	1.3191	148.882	213158.7
9.1	.00011	.00113	.01150	.11866	1.2404	142.433	208378.4
9.2	.00010	.00103	.01061	.11052	1.1659	136.199	203603.4
9.3	.00009	.00094	.00979	.10291	1.0955	130.178	198838.7
9.4	.00008	.00086	.00903	.09580	1.0291	124.368	194089.4
9.5	.00007	.00079	.00833	.08916	.9663	118.763	189360.2
9.6	.00007	.00072	.00768	.08296	.9071	113.362	184655.9
9.7	.00006	.00066	.00708	.07716	.8512	108.159	179980.8
9.8	.00006	.00060	.00652	.07176	.7985	103.151	175339.3
9.9	.00005	.00055	.00601	.06672	.7489	98.333	170735.6

TABELL 3

FUNKTIONEN $n_D = \dfrac{e^{-RT}}{1 - e^{-RT}}$

RT	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	.0000	9.5083	4.5167	2.8583	2.0332	1.5415	1.2164	.9864	.8160	.6851
1	.58198	.49896	.43101	.37463	.32731	.28722	.25297	.22352	.19803	.17587
2	.15652	.13954	.12461	.11143	.09977	.08943	.08023	.07205	.06475	.05823
3	.05240	.04717	.04249	.03830	.03453	.03114	.02809	.02535	.02288	.02066
4	.01866	.01685	.01522	.01376	.01243	.01123	.01015	.00918	.00830	.00750
5	.00678	.00613	.00555	.00502	.00454	.00410	.00371	.00336	.00304	.00275
6	.00248	.00225	.00203	.00184	.00166	.00151	.00136	.00123	.00112	.00101
7	.00091	.00083	.00075	.00068	.00061	.00055	.00050	.00045	.00041	.00037
8	.00034	.00030	.00027	.00025	.00022	.00020	.00018	.00017	.00015	.00014
9	.00012	.00011	.00010	.00009	.00008	.00007	.00007	.00006	.00006	.00005
10	.00005	.00004	.00004	.00003	.00003	.00003	.00002	.00002	.00002	.00002

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 740138-8 från Statens råd för byggnadsforskning till Tekn.dr. Arne Johnsson Ingenjörsbyrå

R67:1979

ISBN 91-540-3027-7
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600967

Abonnemangsgrupp:
T. Fastighetsförvaltning

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 35 kr exkl moms